

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Факултет организационих наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Милоша Дурковића за израду докторске дисертације и оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Одлуком 05-01 br. 3/87-19 od 11.09.2025. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Милоша Дурковића** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Унапређење сервиса паметног саобраћаја применом технологије дигиталног близанца“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

Милош Дурковић рођен је 24. јула 1983. године у Смедереву, где је завршио основну школу, након тога је школовање наставио у Београду у Војној гимназији. Дипломирао је 2007. године на Војној академији у Београду, Универзитета одбране, смер Саобраћај и транспорт са просечном оценом 8,02. Дипломски рад на тему „Модели контроле војног путног саобраћаја“ је одбранио са оценом 10.

Школске 2009/2010. године је уписао последипломске специјалистичке студије Електронско пословање на Факултету организационих наука Универзитета у Београду. Студије је завршио 2011. године са просечном оценом 10 и одбрањеним специјалистичким радом на тему „Развој апликације за праћење возила у Војсци Србије“. Докторске студије на студијском програму Софтверско инжењерство и Електронско пословање уписао је 2022. године. Тренутно је студент друге године докторских студија. Положио је свих девет програмом предвиђених, испита на докторским студијама са просечном оценом 10.

Од септембра 2007. до децембра 2022. године био је стално запослен у Војсци Србије у јединицама логистике као командир вода и командир чете и у људским ресурсима бригаде и оперативног нивоа као референт и начелник. Од 2015. до 2018. године био је ангажован као сарадник у настави на Војној академији из предмета Операциона истраживања (држао практичну наставу кадетима из увода у методе операционих истраживања (линерано, нелинеарно програмирање, вишекритеријумско одлучивање) и Саобраћајни токови – држао практичну наставу кадетима о релацијама у саобраћајном току, методама истраживања параметара и примена савремених модела теорије саобраћајног тока.

Учествовао је у изради новог информационог система људских ресурса у Војсци Србије ИСЉР, који је од новембра 2022. године ушао у оперативну употребу, као и информационог система за управљање превозом у Војсци Србије ИС ПОКРЕТ који се тренутно налази у фази одобравања од стране Министарства одбране. Ангажовао се као члан организационог одбора конференције ICMNE 2017 -

Међународне научне конференције „Менаџмент, Инжењеринг, Екологија” која је одржана 28. и 29. септембра 2017. године у Обреновцу. Ради као freelancer и покреће пројекат под називом „Дигитална гаранција“, технолошку платформу за унапређење искуства потрошача. Креирао је интернет презентације за преко 30 компанија. Од децембра 2022. године ради као саветник за безбедност саобраћаја и водећи инспектор саобраћајних незгода у компанији „Dareen Global“, за потребе Нафтне компаније Омана. У оквиру својих дужности активно ради на унапређењу саобраћаја и транспорта применом информационих технологија, обезбеђујући превентивну, током инцидента и пост-инцидентну подршку.

1.2. СТЕЧЕНО НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКО ИСКУСТВО

У наставку ће бити приказане научноистраживачке активности кандидата. Оне обухватају радове објављене на конференцијама и у часописима, од године уписа докторских студија, и преглед положених испита.

Током досадашњег рада кандидат је објавио више радова у земљи и иностранству и учествовао на више међународних и домаћих скупова и конференција.

Радови у часописима међународног значаја (M20):

1. **Дурковић, М.**, Луковац П., Хацић, Д., Бараћ, Д. и М., Богдановић, З.,: Data-driven traffic management: Enhancing road safety through integrated digital twin technology. Computer Science and Information Systems, Нови Сад, DOI 10.2298/CSIS240925058D. (M23).

Радови у зборницима симпозијума међународног значаја (M30):

2. **Дурковић, М.**, Хацић, Д., Луковац П.: DIGITAL TWINS OF ROAD SIGNAGE: LEVERAGING AI AND RFID FOR IMPROVED ROAD SAFETY, XIX Интернационални симпозијум: Unlocking the hidden potentials of organization through merging of humans and digitals SYMORG 2024, Златибор, 2024, ISBN: 978-86-7680-464-1 (M33).
3. Јоксимовић А., Луковац Р., Деспотовић-Зракић М., **Дурковић М.** и Наумовић Т., Applications of Drones in Smart Agriculture. In Marketing and Smart Technologies: Proceedings of ICMARKTECH 2024, Springer, 2024., ISBN 978-981-96-3080-6 (M33).
4. Наумовић Т., Стојановић Д., **Дурковић, М.**: THE ROLE OF DIGITAL TWINS IN VERTICAL E-BUSINESS APPLICATION, XIX Интернационални симпозијум: Unlocking the hidden potentials of organization through merging of humans and digitals SYMORG 2024, Златибор, 2024, ISBN: 978-86-7680-464-1 (M33).
5. **Дурковић, М.**, Хацић, Д., Бараћ, Д., Деспотовић-Зракић, М., Богдановић, З., и Раденковић, Б., Digital Twin City Congestion Management Model as Part of Smart Mobility in GCC Countries. In Marketing and Smart Technologies: Proceedings of ICMARKTECH 2023, Springer, 2023., ISBN 978-981-97-1551-0 (M33).
6. **Дурковић М.**, Digital Twin Road Network as a Part of ITS Rig Move Model: Case Study Oil Industry of Oman. E-Business Technologies Conference Proceedings, 3(1), 190–194. , Београд, 15.-17.06.2023, (M33).

Следи списак положених предмета на докторским студијама са оценама и ЕСПБ бодовима:

Називи предмета	Оцена	ЕСПБ
Методологија научно-истраживачког рада у техничко-технолошким наукама	10 (десет)	10
Интернет маркетинг и друштвени медији - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Cloud computing и софтверски дефинисане мреже	10 (десет)	10
Blockchain у електронском пословању - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Виртуелна и проширена реалност	10 (десет)	10
Електронско пословање - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Интернет интелигентних уређаја и паметна окружења	10 (десет)	10
Електронско образовање - одабрана поглавља	10 (десет)	10
Мобилно пословање	10 (десет)	10

1.3. ОЦЕНА ПОДОБНОСТИ КАНДИДАТА ЗА РАД НА ПРЕДЛОЖЕНОЈ ТЕМИ

Узимајући у обзир:

- резултате остварене током досадашњег образовања;
- резултате истраживања који су публиковани на научно-стручним конференцијама и у часописима;

закључује се да кандидат у потпуности квалификован да тему докторске дисертације самостално истражује и пружи научно-стручне доприносе у тој области.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања докторске дисертације је развој и унапређење сервиса паметног саобраћаја применом технологије дигиталног близанца (енг. *Digital Twin – DT*). Централни истраживачки проблем је испитивање могућности примене и интеграције технологије дигиталног близанца у сервисима паметног саобраћаја, са освртом на систем за праћење возила која би за последицу имала унапређење безбедности саобраћаја на путевима.

На основу модела дигиталног близанца биће креиран систем који има за циљ прикупљање података са сензора који би се прослеђивали на *cloud* инфраструктуру. Узорак података из реалних паметних саобраћајних система ће послужити као основни скуп података (енг. *dataset*) на који ће се надограђивати подаци о саобраћајној сигнализацији. Очекивани резултат модела је унапређен систем паметног саобраћаја (енг. *Enhanced Smart Mobility System – ESMS*), који има за циљ повећање нивоа безбедности саобраћаја на путевима.

Дигитални близанац представља скуп процеса и метода који се користе за описивање и моделирање карактеристика, понашања, процеса формирања и перформанси физичких објеката помоћу дигиталних технологија, те се у литератури означава као технологија дигиталног близанца. Модел дигиталног близанца је виртуелна репрезентација која је у потпуности усклађена са стварним физичким ентитетима, који је способан да симулира њихово понашање и перформансе у реалном времену. Дигитални близанац обухвата технику, процесе и методе, док су модели дигиталног близанца конкретни објекти, модели и подаци [1].

Дигитални близанци су алати који имају потенцијал да трансформишу урбано планирање и управљање. Ова технологија се може применити у широком дијапазону области од управљања енергетском ефикасношћу до управљања паметним саобраћајем и кључна је у тежњи да паметни градови обезбеде интелигентно управљање градским ресурсима и учине окружење за живот грађана ефикаснијим и удобнијим.

Паметни град обједињује технологије, владу и друштво како би омогућио следеће карактеристике: паметну економију, паметни саобраћај, паметно окружење, паметне људе, паметан начин живота и паметно управљање [2]. Циљ паметног града је да кроз употребу информационе технологије и великих база података повеже ресурсе и сервисе на начин да подигне ниво живота грађана, а смање трошкови живота истих, што је у реалности скуп веома сложених процеса и технолошких решења који се баве прикупљањем и анализом података и применом нових методологија које обезбеђују поменути оптимизацију ресурса и сервиса [3].

Један од елемената паметног града је паметни саобраћај и транспорт који гарантује одрживост у смислу раста урбанизације (чињеница да ће број људи који живи у градовима до 2030. повећати са 3,6 милијарди на 6,3 милијарде[4]) који ће имати утицаја на јавно здравље, саобраћајне гужве и убрзање климатских промена. Основни циљеви паметног саобраћаја и транспорта су смањење загађења животне средине (зелена агенда), смањење саобраћајних гужви, унапређење безбедности свих учесника у саобраћају, смањење буке, повећање ефикасности и ефективности транспорта људи и робе и смањење трошкова истих [5][6]. Уједињене нације су поставиле Циљеве одрживог развоја (енг. *Sustainable Development Goals - SDG*) који наглашавају безбедност у саобраћају. Циљ *SDG 3* има за циљ да осигура здрав живот и промовише добробит за све људе у свим узрастима, при чему је Подциљ 3.6 посвећен смањењу броја смртних случајева и повреда услед саобраћајних незгода на глобалном нивоу за 50% до 2020. године. Такође, *SDG* Циљ 11 се фокусира на стварање инклузивних, безбедних, отпорних и одрживих градова и насеља. Подциљ 11.2 тежи да обезбеди приступ безбедним,

приступачним, доступним и одрживим транспортним системима за све до 2030. године, с посебним нагласком на унапређење безбедности у саобраћају [7].

Елементи паметног саобраћаја и транспорта обухватају[8]:

- корисничко искуство (фокусира се на стварање пријатнијег и ефикаснијег искуства корисника у транспорту, што може укључивати смањење гужви, оптимизацију времена чекања и олакшавање проналажења паркинг места кроз примену технолошки иноватних сервиса),
- постојећи паметни саобраћајни сервиси (већ постојећи концепти као што су дељени бицикли, тротинети, услуге дељења возила попут car-sharing-a и ride-sharing-a, као и технолошки напреднији облици превоза попут електричних возила, који већ трансформишу начин на који се људи превозе у градским срединама),
- иновативне технологије (нове технолошке иновације које се очекују у будућности, попут аутоматских возила која би требала да имају утицај на смањење саобраћајних незгода и оптимизацију путовања, као и експерименте са доставом робе помоћу робота и дронова, који би могли унапредити ефикасност и брзину доставе у градским срединама).
- инфраструктура (темељ паметног транспортног система, укључујући све од путева и саобраћајних знакова до паметних семафора и сензора за праћење саобраћаја, чиме се омогућава боље управљање и координација саобраћаја) и
- управљање системом и регулатива (израда адекватних законских оквира и регулатива који су потребни како би се подржао развој паметног саобраћаја и транспорта, укључујући питања попут лицензирања возила, сајбер безбедности, приватности података и одговорности у случају незгода или проблема везаних за нове технологије).

Глобални возни парк моторних возила, који тренутно броји преко милијарду возила, очекује се да се удвостручи до 2030. године [7]. Упркос овом предвиђеном расту, значајан број новопроизведених возила и даље не испуњава минималне стандарде безбедности. У земљама где правни оквири недостају или су недовољни, произвођачи могу изоставити критичне технологије које спасавају животе у новијим моделима возила како би смањили трошкове производње, што озбиљно нарушава безбедност путника и учесника у саобраћају. Строго спровођење саобраћајних закона је од суштинског значаја за смањење учесталости саобраћајних незгода, повреда и смртних случајева. Подаци показују да око 50% возача у 48 земаља признаје да прекорачује брзину у ван насељеним подручјима. На основу истраживања испитаници сматрају да је вероватноћа добијања казни за такве прекршаје креће се од 30% до 46% [7]. Управљање брзином остаје велики изазов за глобалне експерте за безбедност у саобраћају, захтевајући свеобухватан, дугорочан и интердисциплинарни приступ. Брзина возила је примарни фактор који одређује вероватноћу судара, озбиљност повреда и ризик од смрти. Неопходност управљања и смањења брзине је посебно наглашена у подручјима са великом концентрацијом угрожених учесника у саобраћају, као што су пешаци и бициклисти. Додатно, глобална слика путне инфраструктуре указује на забрињавајуће стање. На основу података од земаља које подносе извештаје постоји скоро 68 милиона километара путева. Од те велике мреже, само 4,5 милиона километара су асфалтирани ауто-путеви, док се остатак састоји од асфалтираних међуградских путева (47 милиона км) и неасфалтираних међуградских путева (10 милиона км). Једно истраживање показало је да већина земаља приоритет даје изградњи путева за моторна возила [9]. Многи нови путеви не испуњавају признате стандарде безбедности на путевима, што наглашава потребу за променом у правцу пројектовања и одржавања путева који узимају у обзир безбедност свих видова транспорта.

Управљање понашањем возача и процена путне инфраструктуре постали су кључни елементи у решавању проблема безбедности у саобраћају, посебно кроз развој напредних система за безбедност возила. Управљање понашањем возача кроз праћење параметара као што су умор, ометање током вожње и давање сигнала упозорења за потенцијалне опасности или ризике значајно смањује вероватноћу саобраћајних незгода. Системи за праћење у реалном времену омогућавају возачима да проактивно реагују на опасне услове, чиме се побољшава општа безбедност на путевима и смањује вероватноћа незгода. Додатно, систематским процењивањем стања и пројекта постојећих путних мрежа могу се идентификовати потенцијалне опасности и дати приоритети за побољшања како би се смањили ризици за све врсте транспорта. Ова проактивна стратегија, заснована на увидима из података, је од суштинског значаја за осигурање безбедног и ефикасног транспортног система у свету са неједнаком инфраструктуром [10].

Мониторинг саобраћајне сигнализације је важан део управљања и одржавања путева. Управљање саобраћајном сигнализацијом представља јединствени изазов због њене распрострањености дуж путева на великим подручјима. Ово захтева ефикасан метод за идентификацију и прикупљање информација. Последњих година активно се истражују системи базирани на вештачкој интелигенцији за усклађивање вожње са постављеном саобраћајном сигнализацијом. Један од таквих приступа подразумева употребу возила опремљених видео камерама за детекцију и препознавање саобраћајних знакова. Међутим, ефикасност и прецизност овог метода визуелне инспекције у великој мери зависе од фактора као што су видљивост и упадни угао светлости у окулар камере. Резултати примене могу бити нижи у подручјима са густом вегетацијом, услед блокиране видљивости саобраћајних знакова. Још један проблем је тешкоћа у обради више знакова који су груписани на истим носачима сигнализације, јер алгоритми за препознавање често имају потешкоћа у разликовању блиско постављених знакова [11].

Управо у том контексту појављује се концепт дигиталних близанаца као иновативно решење које омогућава интеграцију података у реалном времену, напредну аналитику и предиктивно одлучивање. Повезивањем физичких и виртуелних компоненти саобраћајног система, дигитални близанци превазилазе ограничења визуелне инспекције и стварају основу за ефикасније, поузданије и скалабилно управљање у оквиру паметног саобраћаја.

Улога дигиталног близанца превазилази обичну симулацију јер активно комуницира са физичким системом и прилагођава се променљивим спољашњим околностима. Концепт дигиталног близанца паметног саобраћаја (енг. *Mobility Digital Twin - MDT*) је од изузетног значаја, јер омогућује функције као што су надзор, управљање, одржавање, оптимизација и предвиђање. Да би се постигли ови циљеви, возила и саобраћајна инфраструктура се опремају RFID (енг. *Radio Frequency Identification*) и паметним сензорима [12], који олакшавају прикупљање података током читавог животног циклуса производа и преносе податке у реалном времену на сервере у *cloud*-у. Са порастом броја распоређених сензора, добијени резултати су прецизнији. Ови подаци се затим анализирају и представљају корисницима у приступачном формату. Дигитални близанци користе напредне технологије као што су Интернет интелигентних уређаја (енг. *Internet of Things – IoT*) за прикупљање података, 5G за пренос и вештачку интелигенцију (енг. *Artificial Intelligence – AI*) и машинско учење (енг. *Machine Learning – ML*) за анализу и предвиђање података. Поред тога, алати као што су виртуелна реалност (енг. *Virtual Reality - VR*) и проширена реалност (енг. *Augmented Reality - AR*) побољшавају приказивање података и пружају импресивна искуства [13].

Пилот истраживање фокусираће се на иницијално прикупљање и анализе података о саобраћајним условима, понашању возача и стању инфраструктуре у реалном времену. Планирано је инсталирање система за праћење возила (енг. *In-Vehicle Monitoring System – IVMS*) у возилима која учествују у истраживању. Ови системи омогућиће прецизно праћење кретања, брзине, и других кључних параметара вожње, док ће се подаци о саобраћајној инфраструктури прикупљати теренски надзором. На овај начин успоставља се основа за интеграцију више извора података у оквиру дигиталног близанца који ће служити као репрезентативни модел стварних услова на путу.

На основу прикупљених података, пилот истраживање примениће иницијалне алгоритме машинског учења ради предвиђања ризичних догађаја, са посебним акцентом на идентификацију критичних тачака и образаца ризичног понашања возача. Примена техника као што су *SARIMA*, *MetaProphet* и *Random Forest* омогућиће анализу аномалија у понашању учесника у саобраћају и предвиђање потенцијалних инцидената. Тестирањем и евалуацијом ових алгоритама, обезбедиће се први увиди у њихову ефикасност у реалним условима и могућности за даље усавршавање. Осим тога, биће разматрани различити модели за предикцију потребе за одржавањем инфраструктуре и рано упозоравање на стање које захтева интервенцију.

Као завршни корак, пилот истраживање ће развити интерфејс за визуелизацију како би се омогућио преглед и анализа података од стране релевантних институција и стејкхолдера.

У току истраживања биће реализоване следеће активности:

- преглед литературе у области паметног саобраћаја, система паметних градова, технологија дигиталних близанаца и њихове примене у саобраћају.
- преглед примењених модела машинског учења у мониторингу и управљању саобраћајем.

- анализа постојећих модела паметног саобраћаја и специфичних изазова безбедности у саобраћају.
- идентификација потреба за корекцијом понашања возача и унапређење саобраћајне сигнализације.
- дефинисање компонената за прикупљање података у реалном времену помоћу *IoT* сензора и *RFID* технологије.
- дефинисање система за обраду и бележење података добијених из дигиталног близанца ради праћења и предвиђања могућих саобраћајних инцидената.
- дизајн модела за праћење возача и анализа понашања на основу *IVMS* података.
- имплементација прототипа дигиталног близанца за паметни саобраћај и тестирање у пилот окружењу.
- планирање експеримента у прототипу, са анализом ефеката на безбедност у саобраћају.
- извођење експеримента и прикупљање резултата из пилот тестирања.
- анализа резултата тестирања и процена утицаја на безбедност и ефикасност саобраћаја.
- израда и анализа препорука за имплементацију система на ширем нивоу у оквиру паметног саобраћаја.
- евалуација спремности заинтересованих страна (стејкхолдера) за коришћење система паметног саобраћаја који укључује дигиталне близанце и вештачку интелигенцију.

Почетна листа библиографских извора која ће се користити приликом израде докторске дисертације:

- [1] Z. Wang, "Digital Twin Technology," in *Industry 4.0*, T. Bányai and A. P. F. De Felice, Eds., Rijeka: IntechOpen, 2020, ch. 7. doi: 10.5772/intechopen.80974.
- [2] R. Faria, L. Brito, K. Baras, and J. Silva, "Smart mobility: A survey," in *2017 International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC)*, 2017, pp. 1–8. doi: 10.1109/IoTGC.2017.8008972.
- [3] C. Qian, X. Liu, C. Ripley, M. Qian, F. Liang, and W. Yu, "Digital Twin—Cyber Replica of Physical Things: Architecture, Applications and Future Research Directions," Feb. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/fi14020064.
- [4] A. Khamis, *Smart Mobility - Exploring Foundational Technologies and Wider Impacts*. Berkeley, CA: Apress, 2021. doi: 10.1007/978-1-4842-7101-8.
- [5] M. Durković, D. Hadžić, D. Barać, M. Despotović-Zrakić, Z. Bogdanović, and B. Radenković, "Digital Twin City Congestion Management Model as Part of Smart Mobility in GCC Countries," *In Marketing and Smart Technologies: Proceedings of ICMarTech 2023*, vol. 1, 2023, [Online]. Available: <https://rfos.fon.bg.ac.rs/handle/123456789/2728>
- [6] M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far, and H. Jahankhani, *Digital Twin Technologies and Smart Cities Part I*, no. August. Springer International Publishing, 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/project/Digital-Twin-Technologies-and-Smart-Cities%0A>
- [7] United Nations, "UN Road Safety Strategy," 2018. [Online]. Available: https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/un_road_safety_strategy.pdf
- [8] M. Bejjani, P.-O. Karlsson, Dr. U. Koegler, and M. Haddad, "Smart mobility in GCC cities: Fast track to the future." Accessed: Sep. 03, 2023. [Online]. Available: www.strategyand.pwc.com/me
- [9] M. Durković, P. Lukovac, D. Hadžić, D. Barać, and Z. Bogdanović, "Data-driven traffic management: Enhancing road safety through integrated digital twin technology," *Computer Science and Information Systems*, no. 00, pp. 58–58, 2025, doi: 10.2298/CSIS240925058D.
- [10] M. Durković, D. Hadžić, and P. Lukovac, "Digital Twins of Road Signage: Leveraging AI and RFID for Improved Road Safety," in *SYMORG 2024, XIX International Symposium Unlocking The Hidden Potentials Of Organization Through Merging Of Humans And Digitals*, M. Ph. D. Kostić-Stanković, I. Ph. D. Mijatović, and J. Ph. D. Krivokapić, Eds., Zlatibor: University of Belgrade – Faculty of Organizational Sciences, 2024.

- [11] W. Chen, J. Childs, S. Ray, B. S. Lee, and T. Xia, "RFID Technology Study for Traffic Signage Inventory Management Application," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 10, pp. 17809–17818, Oct. 2022, doi: 10.1109/TITS.2022.3164579.
- [12] B. Adhikari, "Using Visual and Vehicular Sensors for Driver Behavior Analysis: A Survey," 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2308.13406>
- [13] Z. Wang *et al.*, "Mobility Digital Twin: Concept, Architecture, Case Study, and Future Challenges," *IEEE Internet Things J*, vol. 9, pp. 17452–17467, Sep. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3156028.
- [14] Meta Facebook, "Prophet: Forecasting at Scale," 2023.
- [15] S. J. Taylor and B. Letham, "Prophet: Forecasting at Scale," 2017.
- [16] A. Almazrouee, A. Almeshal, A. Almutairi, M. Alenezi, and S. Alhajeri, "Long-Term Forecasting of Electrical Loads in Kuwait Using Prophet and Holt-Winters Models," *Applied Sciences*, vol. 10, p. 5627, Aug. 2020, doi: 10.3390/app10165627.
- [17] M. Nadeem, W. Haider, H. Ahmed, and S. Khan, "Enhancing Smart Mobility Through Machine Learning and Neural Networks," *7th Edition Global Conference on Wireless and Optical Technologies, GCWOT 2024*, 2024, doi: 10.1109/GCWOT63882.2024.10805610.
- [18] F. Araújo, F. Araújo, K. Machado, D. Rosário, E. Cerqueira, and L. A. Villas, "Ensemble mobility predictor based on random forest and Markovian property using LBSN data," *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 11, no. 1, pp. 1–11, Dec. 2020, doi: 10.1186/S13174-020-00130-7/FIGURES/5.
- [19] S. Medhn, B. Seifu, A. Salem, and D. Hailemariam, "Mobile data traffic forecasting in UMTS networks based on SARIMA model: The case of Addis Ababa, Ethiopia," *2017 IEEE AFRICON: Science, Technology and Innovation for Africa, AFRICON 2017*, pp. 285–290, Nov. 2017, doi: 10.1109/AFRCON.2017.8095496.
- [20] S. Jat, R. S. Tomar, and S. Narayankhedkar, "Time Series Analysis and Forecasting of Vehicular Network Communication Severity: A Comparative Study of ARIMA and SARIMA Models," *Proceedings - 4th International Conference on Smart Technologies, Communication and Robotics 2025, STCR 2025*, 2025, doi: 10.1109/STCR62650.2025.11020241.
- [21] Z. Wang, C. Lv, and F. Y. Wang, "A New Era of Intelligent Vehicles and Intelligent Transportation Systems: Digital Twins and Parallel Intelligence," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 8, no. 4, pp. 2619–2627, Apr. 2023, doi: 10.1109/TIV.2023.3264812.
- [22] Jelena Krtenic, Aleksandar Milentijevic, and Valbona Samardzija, "URBAN MOBILITY AS A MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO IMPROVING THE QUALITY OF LIFE IN CITIES," *PROCEEDINGS The 7th Scientific-Expert Meeting "Road and Environment", Vrnjacka Banja, Serbia, May 24-26, 2023.*, p. 242, 2023, Accessed: Oct. 14, 2025. [Online]. Available: <https://grafar.grf.bg.ac.rs/handle/123456789/3348>
- [23] S. Kussl and A. Wald, "Smart Mobility and its Implications for Road Infrastructure Provision: A Systematic Literature Review," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 1, p. 210, Jan. 2023, doi: 10.3390/SU15010210/S1.
- [24] N. Ashfaq, S. Khan, F. Niaz, S. Muhammad Usman, I. Niaz, and J. Yanbing, *Smart City IoT Application for Road Infrastructure Safety and Monitoring by Using Digital Twin*. 2022. doi: 10.1109/ICIT56493.2022.9989141.
- [25] S. Lee *et al.*, "A Study on Reducing Traffic Congestion in the Roadside Unit for Autonomous Vehicles Using BSM and PVD," *World Electric Vehicle Journal 2024, Vol. 15, Page 117*, vol. 15, no. 3, p. 117, Mar. 2024, doi: 10.3390/WEVJ15030117.
- [26] A. Haydari and Y. Yilmaz, "Deep Reinforcement Learning for Intelligent Transportation Systems: A Survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 1, pp. 11–32, Jan. 2022, doi: 10.1109/TITS.2020.3008612.
- [27] B. Predić, "Detekcija i proaktivna isporuka informacija o saobraćajnim događajima u mobilnim informacionim sistemima za podršku navigaciji i transportu," *Универзитет у Хууу*, Feb. 2012, Accessed: Oct. 04, 2025. [Online]. Available: <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/8642>
- [28] D. Mitieka, R. Luke, H. Twinomurinzi, and J. Mageto, "Smart Mobility in Urban Areas: A Bibliometric Review and Research Agenda," *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 6754*, vol. 15, no. 8, p. 6754, Apr. 2023, doi: 10.3390/SU15086754.
- [29] Leander. Kauschke, "The Transition to Smart Mobility," 2023.

- [30] J. So, H. An, and C. Lee, "Defining Smart Mobility Service Levels via Text Mining," *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 9293, vol. 12, no. 21, p. 9293, Nov. 2020, doi: 10.3390/SU12219293.
- [31] B. McQueen, A. Safi, and S. Alkheyaili, *Smart Mobility: Using Technology to Improve Transportation in Smart Cities*. 2024. doi: 10.1002/9781119847168.
- [32] I. Šemanjski, S. Mandžuka, and S. Gautama, "Smart mobility," *Proceedings Elmar - International Symposium Electronics in Marine*, vol. 2018-September, pp. 63–66, Nov. 2018, doi: 10.23919/ELMAR.2018.8534693.
- [33] C. Benevolo, R. P. Dameri, and B. D'Auria, "Smart mobility in smart city action taxonomy, ICT intensity and public benefits," *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, vol. 11, pp. 13–28, Jan. 2016, doi: 10.1007/978-3-319-23784-8_2.
- [34] M. Almaliki, A. Bamaqa, M. Badawy, T. A. Farrag, H. M. Balaha, and M. A. Elhosseini, "Adaptive Traffic Light Management for Mobility and Accessibility in Smart Cities," *Sustainability* 2025, Vol. 17, Page 6462, vol. 17, no. 14, p. 6462, Jul. 2025, doi: 10.3390/SU17146462.
- [35] T. Unterluggauer, J. Rich, P. B. Andersen, and S. Hashemi, "Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review," *eTransportation*, vol. 12, p. 100163, May 2022, doi: 10.1016/J.ETTRAN.2022.100163.
- [36] M. Rosca, C. Oprea, A. Ilie, S. Olteanu, and OanaDinu, "Solutions for Improving Transit through Intermodal Passenger Terminals," *Procedia Manuf*, vol. 46, pp. 225–232, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.PROMFG.2020.03.033.
- [37] N. Drinjak and M. Maričić, "Time series analysis of shared mobility services usage," *XIX International Symposium Unlocking the hidden potentials of organization through merging of humans and digitals*, pp. 285–290, 2024, doi: 10.18690/978-961-286-388.
- [38] F. Alanazi, "Development of Smart Mobility Infrastructure in Saudi Arabia: A Benchmarking Approach," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 4, p. 3158, Feb. 2023, doi: 10.3390/SU15043158/S1.
- [39] S. Paiva, M. A. Ahad, G. Tripathi, N. Feroz, and G. Casalino, "Enabling Technologies for Urban Smart Mobility: Recent Trends, Opportunities and Challenges," *Sensors* 2021, Vol. 21, Page 2143, vol. 21, no. 6, p. 2143, Mar. 2021, doi: 10.3390/S21062143.
- [40] J. Jay Lee, A. M. Militao, M. Abiola Abdulrazaq, C. An, and J. Shen, "Assessing the impact of Mobility-as-a-Service (MaaS) on sustainable urban travel behaviors: a systematic literature review," *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 7, p. 1645488, Oct. 2025, doi: 10.3389/FRSC.2025.1645488.
- [41] M. Elassy, M. Al-Hattab, M. Takruri, and S. Badawi, "Intelligent transportation systems for sustainable smart cities," *Transportation Engineering*, vol. 16, p. 100252, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.TRENG.2024.100252.
- [42] "Quarterly greenhouse gas emissions in the EU - Statistics Explained - Eurostat." Accessed: Oct. 04, 2025. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Quarterly_greenhouse_gas_emissions_in_the_EU
- [43] H. van der Valk, H. Haße, F. Möller, and B. Otto, "Archetypes of Digital Twins," *Business and Information Systems Engineering*, vol. 64, no. 3, pp. 375–391, Jun. 2022, doi: 10.1007/S12599-021-00727-7/TABLES/7.
- [44] W. Hu, T. Zhang, X. Deng, Z. Liu, and J. Tan, "Digital twin: a state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges," *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment*, vol. 2, no. 1, pp. 1–34, Aug. 2021, doi: 10.1108/JIMSE-12-2020-010.
- [45] B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, and S. Wartzack, "Shaping the digital twin for design and production engineering," *CIRP Annals*, vol. 66, no. 1, pp. 141–144, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.CIRP.2017.04.040.
- [46] M. R. Bachute and J. M. Subhedar, "Autonomous Driving Architectures: Insights of Machine Learning and Deep Learning Algorithms," *Machine Learning with Applications*, vol. 6, p. 100164, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.MLWA.2021.100164.
- [47] H. Van Der Valk, H. Haße, and F. Möller, "A Taxonomy of Digital Twins," 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/341235159>
- [48] M. Kolbanev and T. Astakhova, "Digital twin as a driver of digitalization of organizations' activities and creation of digital models," 2022. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003-4825-6972>

- [49] M. Jafari, A. Kavousi-Fard, T. Chen, and M. Karimi, "A Review on Digital Twin Technology in Smart Grid, Transportation System and Smart City: Challenges and Future," 2023, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/ACCESS.2023.3241588.
- [50] A. J. H. Redelinghuys, A. H. Basson, and K. Kruger, "A six-layer architecture for the digital twin: a manufacturing case study implementation," *J Intell Manuf*, vol. 31, no. 6, pp. 1383–1402, Aug. 2020, doi: 10.1007/s10845-019-01516-6.
- [51] M. Singh, E. Fuenmayor, E. P. Hinchy, Y. Qiao, N. Murray, and D. Devine, "Digital Twin: Origin to Future," *Applied System Innovation 2021*, Vol. 4, Page 36, vol. 4, no. 2, p. 36, May 2021, doi: 10.3390/ASI4020036.
- [52] L. Li, S. Aslam, A. Wileman, and S. Perinpanayagam, "Digital Twin in Aerospace Industry: A Gentle Introduction," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 9543–9562, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3136458.
- [53] F. TAO *et al.*, "makeTwin: A reference architecture for digital twin software platform," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 37, no. 1, pp. 1–18, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.CJA.2023.05.002.
- [54] Y. H. Kuo, F. Pilati, T. Qu, and G. Q. Huang, "Digital twin-enabled smart industrial systems: recent developments and future perspectives," *Int J Comput Integr Manuf*, vol. 34, no. 7–8, pp. 685–689, Aug. 2021, doi: 10.1080/0951192X.2021.1959710.
- [55] S. Werbińska-Wojciechowska, R. Giel, and K. Winiarska, "Digital Twin Approach for Operation and Maintenance of Transportation System—Systematic Review," *Sensors*, vol. 24, no. 18, p. 6069, Sep. 2024, doi: 10.3390/S24186069/S1.
- [56] A. Saroj, G. Xu, Y. Shao, and C. Wang, "A SYSTEMATIC COMPARISON FOR CONSISTENT SCENARIO DEVELOPMENT USING MICROSCOPIC SIMULATION SOFTWARE," *Proceedings - Winter Simulation Conference*, pp. 194–205, 2024, doi: 10.1109/WSC63780.2024.10838810.
- [57] J. Schweizer, C. Poliziani, F. Rupi, D. Morgano, and M. Magi, "Building a large-scale micro-simulation transport scenario using big data," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 10, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.3390/ijgi10030165.
- [58] A. O. Diallo, G. Lozenguez, A. Doniec, and R. Mandiau, "Comparative evaluation of road traffic simulators based on modeler's specifications: An application to intermodal mobility behaviors," *ICAART 2021 - Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, vol. 1, pp. 265–272, 2021, doi: 10.5220/0010238302650272.
- [59] J. Guo, M. Bilal, Y. Qiu, C. Qian, X. Xu, and K. K. Raymond Choo, "Survey on digital twins for Internet of Vehicles: Fundamentals, challenges, and opportunities," *Digital Communications and Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 237–247, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.DCAN.2022.05.023.
- [60] O. El Marai, T. Taleb, and J. Song, "Roads Infrastructure Digital Twin: A Step Toward Smarter Cities Realization," *IEEE Netw*, vol. 35, pp. 136–143, 2021, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:229618520>
- [61] D. Botin *et al.*, *Digital Twin for Urban Spaces: an Application*. 2021.
- [62] E. Faliagka *et al.*, "Trends in Digital Twin Framework Architectures for Smart Cities: A Case Study in Smart Mobility," *Sensors 2024*, Vol. 24, Page 1665, vol. 24, no. 5, p. 1665, Mar. 2024, doi: 10.3390/S24051665.
- [63] M. Hassan, M. Svadling, and N. Björzell, "Experience from implementing digital twins for maintenance in industrial processes," *J Intell Manuf*, vol. 35, no. 2, pp. 875–884, Feb. 2024, doi: 10.1007/S10845-023-02078-4/TABLES/1.
- [64] IOGP, "Implementing and sustaining an in-vehicle monitoring system programme," May 2024.
- [65] A. Krum, A. Miller, and S. Soccolich, "Evaluation of an In-vehicle Monitoring System Among an Oil and Gas Well Servicing Fleet," Blacksburg, May 2020.
- [66] Shell, "In-vehicle monitoring systems improve driving skills." Accessed: May 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.shell.com/business-customers/shell-fleet-solutions/health-security-safety-and-the-environment/in-vehicle-monitoring-systems-can-help-everyone-to-improve-their-driving-skills.html>
- [67] J. L. Bell, M. A. Taylor, G.-X. Chen, R. D. Kirk, and E. R. Leatherman, "Evaluation of an in-vehicle monitoring system (IVMS) to reduce risky driving behaviors in commercial drivers: Comparison of in-cab warning lights and supervisory coaching with videos of driving behavior," *J Safety Res*, vol. 60, pp. 125–136, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2016.12.008>.

- [68] L. Hu, H. Li, X. Xu, and J. Li, "An intelligent vehicle monitoring system based on Internet of Things," in *Proceedings - 2011 7th International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2011*, 2011, pp. 231–233. doi: 10.1109/CIS.2011.59.
- [69] A. M. Sohail, K. S. Khattak, Z. H. Khan, T. A. Gulliver, and A. B. Altamimi, "Exploring Vehicle Telematics in Intelligent Transportation Systems: Applications, Challenges, and Prospects," Apr. 2025, doi: 10.20944/PREPRINTS202504.1105.V1.
- [70] P. Visconti, G. Rausa, C. Del-Valle-Soto, R. Velázquez, D. Cafagna, and R. De Fazio, "Innovative Driver Monitoring Systems and On-Board-Vehicle Devices in a Smart-Road Scenario Based on the Internet of Vehicle Paradigm: A Literature and Commercial Solutions Overview," *Sensors (Basel)*, vol. 25, no. 2, Jan. 2025, doi: 10.3390/S25020562.
- [71] J. Xiang, O. Ghaffarpasand, and F. D. Pope, "Mapping urban mobility using vehicle telematics to understand driving behaviour," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, p. 3271, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-53717-6.
- [72] J. Xie, X. Zhou, and L. Cheng, "Edge Computing for Real-Time Decision Making in Autonomous Driving: Review of Challenges, Solutions, and Future Trends," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 15, no. 7, pp. 598–607, Jul. 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150759.
- [73] C. A. Popovici and A. Stan, "Real-Time RISC-V-Based CAN-FD Bus Diagnosis Tool," *Micromachines (Basel)*, vol. 14, no. 1, p. 196, Jan. 2023, doi: 10.3390/M14010196.
- [74] A. Jain, V. Saini, C. Choudhary, and M. Yadav, "Improved Intelligent Fleet Management System with Data Analytics and Internet of Things (IoT) for Smart Cities," *IET Conference Proceedings*, vol. 2023, no. 44, pp. 307–312, 2023, doi: 10.1049/ICP.2024.0943.
- [75] X. Gu *et al.*, "Digital Twin Technology for Intelligent Vehicles and Transportation Systems: A Survey on Applications, Challenges and Future Directions," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2025, doi: 10.1109/COMST.2025.3581152.
- [76] J. Guo, M. Bilal, Y. Qiu, C. Qian, X. Xu, and K. K. Raymond Choo, "Survey on digital twins for Internet of Vehicles: Fundamentals, challenges, and opportunities," *Digital Communications and Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 237–247, Apr. 2024, doi: 10.1016/J.DCAN.2022.05.023.
- [77] C. Liu, P. Zhang, and X. Xu, "Literature review of digital twin technologies for civil infrastructure," *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, vol. 2, no. 3, p. 100050, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.iintel.2023.100050.
- [78] Q. Qi *et al.*, "Enabling technologies and tools for digital twin," *J Manuf Syst*, vol. 58, pp. 3–21, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JMSY.2019.10.001.
- [79] Agencija za bezbednost saobraćaja, "Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji za 2023. godinu." Accessed: Oct. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.abs.gov.rs/rsl/statisticki-izvestaji>
- [80] M. M. Rahman, M. K. Islam, A. Al-Shayeb, and M. Arifuzzaman, "Towards Sustainable Road Safety in Saudi Arabia: Exploring Traffic Accident Causes Associated with Driving Behavior Using a Bayesian Belief Network," *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 6315*, vol. 14, no. 10, p. 6315, May 2022, doi: 10.3390/SU14106315.
- [81] W. A. Al-Hussein, L. Y. Por, M. L. M. Kiah, and B. B. Zaidan, "Driver Behavior Profiling and Recognition Using Deep-Learning Methods: In Accordance with Traffic Regulations and Experts Guidelines," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 3, 2022, doi: 10.3390/ijerph19031470.
- [82] D. Wu *et al.*, "Digital Twin Technology in Transportation Infrastructure: A Comprehensive Survey of Current Applications, Challenges, and Future Directions," *Applied Sciences 2025, Vol. 15, Page 1911*, vol. 15, no. 4, p. 1911, Feb. 2025, doi: 10.3390/APP15041911.
- [83] FMS Tech, "Driver Fatigue Management Solution in ADIPEC 2023." Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://fms-tech.com/fms-tech-to-showcase-driver-fatigue-management-solution-in-adipec-2023/>
- [84] A. Belhaj Ali, *Spatial Statistics with Python: Theories, Techniques and Applications*. 2024.
- [85] M. A. Ertürk, "Comparison of time series forecasting for intelligent transportation systems in digital twins," *Electrica*, vol. 24, no. 2, pp. 375–384, 2024.
- [86] J. Broz and T. Tichy, "Road Tunnel Positioning: Enabling Location-Based Services in GNSS-Denied Environments," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 156694–156701, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3479278.
- [87] S. Jiang, Q. Xu, W. Wang, P. Peng, and J. Li, "Vehicle positioning systems in tunnel environments: a review," *Complex & Intelligent Systems*, vol. 11, no. 2, p. 164, 2025, doi: 10.1007/s40747-024-01744-1.

[88] L. Zhong, J. Tang, C. Xu, B. Ren, B. Du, and Z. Huang, "Traffic prediction of converged network for smart grid based on GNN and LSTM," *2022 3rd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering, ICBAIE 2022*, pp. 341–348, 2022, doi: 10.1109/ICBAIE56435.2022.9985900.

[89] A. Sharma *et al.*, "A Graph Neural Network (GNN)-Based Approach for Real-Time Estimation of Traffic Speed in Sustainable Smart Cities," *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 11893, vol. 15, no. 15, p. 11893, Aug. 2023, doi: 10.3390/SU151511893.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

На основу дефинисаног предмета и циљева истраживања, у докторској дисертацији биће испитане следеће хипотезе:

Главна хипотеза:

Примена технологије дигиталног близанца у паметном саобраћају, уз коришћење алгоритама машинског учења може значајно побољшати безбедност на путевима кроз смањење могућности за грешке возача, континуирано праћење стања инфраструктуре, благовремену обуку и корекцију понашања небезбедних возача, омогућавајући стејкхолдерима проактивне мере у унапређењу сервиса паметног саобраћаја.

Појединачне хипотезе:

X1: Применом технологије дигиталног близанца и алгоритама машинског учења могуће је извршити рану идентификацију и предвиђање образаца понашања возача који потенцијално угрожавају безбедност у саобраћају.

X2: Могуће је унапредити сервисе паметног саобраћаја креирањем модела који примењује технологију дигиталног близанца и машинско учење за идентификацију и предвиђање критичних тачака на путевима, укључујући анализу утицаја саобраћајне инфраструктуре на безбедност саобраћаја.

X3: Имплементација дигиталног модела заснованог на технологији дигиталног близанца и предиктивних алгоритама машинског учења може допринети значајном унапређењу безбедности саобраћаја путем предиктивне анализе и превентивних мера.

X4: Интеграција дигиталног модела са постојећим IVMS системима омогућиће стејкхолдерима бржу и ефикаснију реакцију на саобраћајне, инфраструктурне и безбедносне изазове у реалном времену.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Током израде докторске дисертације користиће се општи научни методи: анализа и синтеза постојећих научних знања, моделовање, аналитичко-дедуктивна и статистичка метода. Методама анализе и синтезе биће дефинисане и анализиране теоријске основе концепта паметног града, паметног саобраћаја, сервиса заснованих на мрежи интелигентних уређаја и сензора.

Прикупљање података у дигиталним базама података реализоваће се применом методологије PRISMA (eng. *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*).

Метод моделовања ће се користити приликом израде дигиталног модела за управљањем безбедности саобраћаја на бази технологије дигиталног близанца. Од посебних алгоритама користиће се предиктивни алгоритми машинског учења.

Аналитичко-дедуктивне методе користиће се за анализу података о досадашњим имплементацијама сличних система, о потребама паметног саобраћаја, као и за развој и евалуацију предложеног модела. Статистичка метода ће се користити за анализу добијених резултата.

У експерименталном делу дисертације биће спроведена евалуација развијеног модела за управљање и предвиђање безбедности саобраћаја применом методе дигиталног близанца. Планирано је да се систем изгради као слојевита архитектура која ће обухватати прикупљање података у реалном окружењу и њихову централизовану обраду у *cloud* инфраструктури провајдера IVMS услуга. За потребе истраживања користиће се уређај *FMS Fusion 300 IVMS*, опремљен *GNSS* модулима (*GPS*, *GLONASS*, *BeiDou*) и *CANBUS* конекцијом, што ће омогућити прикупљање телеметријских података о возилу. Ови подаци

ће се путем мобилних или сателитских мрежа преносити у централно складиште података, којим ће управљати IVMS провајдер. У оквиру тог система примењиваће се геопросторне библиотеке у програмском језику *Python* и предиктивни алгоритам машинског учења, чиме ће се омогућити развој паметних сервиса као што су предиктивно одржавање путева, анализа и вредновање саобраћајне сигнализације, као и адаптивна обука возача.

Експеримент ће обухватити избор и примену оптималног алгоритма машинског учења (*SARIMA*, *MetaProphet*, *Random Forest*), а добијени резултати треба да потврде постављене хипотезе. Очекује се да ће добијени резултати потврдити постављене хипотезе и показати практичну применљивост предложеног модела у предвиђању и унапређивању безбедности саобраћаја.

Резултати истраживања ће бити представљени текстуално, описивањем и графички кроз више слика, дијаграма и табела са резултатима. Подаци прикупљени у експерименталном делу рада биће приказани интерактивним графиконима.

Истраживање је мултидисциплинарно и обухватиће информатику, електронику, саобраћај и безбедност на раду.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Најзначајнији допринос овог рада огледа се у развоју интегрисаног модела дигиталног близанца који истовремено обухвата возача, возило и путну инфраструктуру, и повезује их у јединствено предиктивно окружење. Модел заснован на cloud инфраструктури прикупља велики број телеметријских података који омогућава унапређење сервиса паметног саобраћаја коришћењем предиктивних алгоритама машинског учења кроз идентификацију ризика у безбедности саобраћаја као што су непоштовање саобраћајне сигнализације, предвиђање ризичних образаца понашања возача, благовремену дијагностику стања возила и предиктивно одржавање путева.

Очекивани научни доприноси резултата планираног истраживања огледају се у:

- развоју новог теоријског модела дигиталног близанца и машинског учења, који омогућава предиктивну анализу и проактивне мере за побољшање безбедности саобраћаја применом инфомационих технологија.
- формалном опису система који, применом машинског учења у анализи и предвиђању ризичних образаца понашања возача, поставља реалну основу за будуће унапређење возачких перформанси засновано на индивидуалном приступу.
- креирању методологије за предвиђање критичних тачака на путевима и процену утицаја саобраћајне инфраструктуре на безбедност учесника у саобраћају, са приоритетом на одржавање и редизајн инфраструктуре.
- идентификација импликација, ограничења и препорука за примену дигиталног близанца у паметном саобраћају заснованом на *IoT* технологијама и машинском учењу, са циљем побољшања безбедности и ефикасности саобраћајног система.

Очекивани стручни доприноси планираног истраживања огледају се у следећем:

- нови приступ проблемима паметног саобраћаја кроз утврђивање могућности развоја модела за управљањем безбедношћу паметног саобраћаја.
- развоју практичног модела дигиталног близанца, који омогућава реално-временско праћење и предвиђање ризичних ситуација на путевима, што директно доприноси унапређењу безбедности саобраћаја.
- интеграцији *IoT* технологија и алгоритама машинског учења у постојеће саобраћајне системе, чиме се омогућава прецизније праћење инфраструктуре и брже реаговање на потенцијалне ризике и побољшању планирања и одржавања путне инфраструктуре кроз препознавање критичних тачака на путевима.
- креирању алата за праћење и анализу понашања возача, који омогућавају појединачно усмерене мере за побољшање возачких перформанси и смањење ризичних образаца понашања.
- оптимизацију ресурса за одржавање и редизајн саобраћајних површина и дообуку возача.
- развоју графичког интерфејса за визуелизацију саобраћајних података и аналитичких резултата, што омогућава стејкхолдерима лакше разумевање и ефикасније доношење одлука.

Друштвени доприноси резултата истраживања односе се на могућност решавања различитих друштвених проблема, од којих су најважнији:

- смањење саобраћајних незгода кроз предиктивну анализу и проактивне мере за повећање безбедности саобраћаја на путевима.
- побољшање квалитета живота у градовима кроз смањење застоја, загађења и буке.
- повећању свести о безбедном понашању учесника у саобраћају.
- подршци одрживом развоју уз ефикасније планирање и одржавање инфраструктуре.

Допринос овог рада огледа се и у томе што подржава Циљеве одрживог развоја Уједињених нација, посебно *SDG 3.6*, који има за циљ преполовљење броја смртних случајева и повреда у саобраћају, и *SDG 11.2*, који настоји да обезбеди приступ безбедним, приступачним и одрживим транспортним системима за све до 2030. године, са посебним нагласком на унапређење безбедности у саобраћају.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

	Фаза	Задатак	Методe, технике, стандарди
1.	Анализа постојећег стања и досадашњих резултата истраживања	- Прикупљање информација и анализа постојећег стања, као и досадашњих резултата истраживања у области паметног саобраћаја и примене ИТ сервиса за повећање безбедности саобраћаја - Систематизација резултата досадашњих истраживања и постојећих сервиса паметног саобраћаја базираних на <i>IoT</i> и употребу технологије дигиталног близанца и машинског учења у тим сервисима	- Претраживање научне литературе - Претраживање применом методологије PRISMA (eng. <i>Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses</i>) - Претраживање стручне литературе - Претраживање интернет извора - Студије случаја - Компаративна анализа
2.	Развој модела и методолошких поступака у паметном саобраћају заснованом на <i>IoT</i> и технологији дигиталног близанца	- Моделирање <i>IoT</i> инфраструктуре за прикупљање података у саобраћају. - Моделирање сервиса система за управљање безбедношћу саобраћаја базираном на технологији дигиталног близанца. - Моделирање <i>cloud computing</i> и <i>big data</i> инфраструктуре за чување и анализу података у паметном саобраћају. - Моделирање сервиса за обраду података добијених из <i>IVMS</i> система и могућност предвиђања будућих догађаја везаних за понашање возача и саобраћајну инфраструктуру. - Систематизација и анализа примене сервиса за одржавање и унапређење саобраћајне инфраструктуре. - Систематизација и анализа примене сервиса за унапређење понашања возача у саобраћају кроз процес додатне обуке и менторства. - Интеграција унапређених сервиса паметног саобраћаја базираних на технологији дигиталног близанца са сервисима паметног града.	- Претраживање стручне и научне литературе - Претраживање интернет ресурса - Опште методе моделирања - Методе моделирања података - Методе моделовања пословних модела, <i>business model canvas</i> - Методе моделовања пословних процеса - Методе моделирања паметних окружења - Методе моделовања сервиса паметног саобраћаја

3.	Развој прототипа хардверског и софтверског система сервиса паметног саобраћаја базираних на технологији дигиталног близанца	- Дефинисање захтева софтверског система сервиса паметног саобраћаја базираних на технологији дигиталног близанца - Развој модела случајева коришћења. - Анализа и пројектовање софтверског система - Развој компонената IVMS система за прикупљање података из окружења коришћењем IoT уређаја - Развој корисничког интерфејса - Тестирање и верификација хардверско-софтверских компонената	- Методе пројектовања софтвера. - Методе развоја и тестирања софтвера. - Python програмски језик - Алгоритми машинског учења (MetaProphet) - Веб сервиси, - RFID технологије
4.	Примена модела	- Тестирање и имплементација развијене методологије и система. - Имплементација сервиса паметног саобраћаја базираних на технологији дигиталног близанца - Примена сервиса паметног саобраћаја базираних на технологији дигиталног близанца у реалном окружењу - Анализа резултата примене.	- Методе управљања процесом анализе података. - Верификација и валидација. - Статистичке методе.
5.	Закључак	- Анализа предности и недостатака предложеног решења - Евалуација предложених модела и развијеног софтвера са аспекта перформанси, скалабилности, ефикасности и примењивости - Предлог будућег истраживања	- Анализа - Синтеза

ФАЗА	МЕСЕЦ											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

Оквирни предлог садржаја дисертације

1. Увод

- 1.1. Дефинисање предмета истраживања
- 1.2. Циљеви истраживања
- 1.3. Полазне хипотезе
- 1.4. Методологија истраживања
- 1.5. Структура и организација рада

2. Паметни саобраћај

- 2.1. Појам и дефиниција паметног саобраћаја
- 2.2. Инфраструктура паметног саобраћаја
- 2.3. Сервиси паметног саобраћаја
- 2.4. Преглед технолошких платформи и IoT технологија у паметном саобраћају
- 2.5. Друштвени и економски аспекти паметног саобраћаја

3. Технологија дигиталног близанца
 - 3.1. Појам и дефиниција дигиталног близанца
 - 3.2. Архитектура дигиталног близанца
 - 3.3. Врсте дигиталних близанаца
4. Примена дигиталног близанца у паметном саобраћају
 - 4.1. Концепт дигиталног близанца и његова примена у различитим областима
 - 4.2. Потенцијал дигиталног близанца за побољшање безбедности и ефикасности у саобраћају
 - 4.3. Архитектура дигиталног близанца у саобраћајним системима
 - 4.4. Технолошки изазови и предности примене дигиталног близанца
5. In-Vehicle Monitoring System (IVMS)
 - 5.1. Улога IVMS-а у паметном саобраћају
 - 5.2. Технологије и сензори у IVMS-у
 - 5.3. Обрада и анализа података у реалном времену
 - 5.4. Интеграција IVMS-а са дигиталним близанцем
6. Моделирање сервиса паметног саобраћаја применом технологије дигиталног близанца
 - 6.1. Моделирање дигиталног близанца
 - 6.2. Моделирање архитектуре сервиса паметног саобраћаја
 - 6.3. Моделирање сервиса машинског учења за предвиђање саобраћајних догађаја и инцидената
 - 6.4. Моделирање система за обраду и анализу понашања возача
 - 6.5. Моделирање сервиса за обраду података о саобраћајној инфраструктури
 - 6.6. Интеграција сервиса паметног саобраћаја са сервисима паметног града
7. Примена и евалуација развијеног система
 - 7.1. Пројектни захтеви
 - 7.2. Пројектовање и имплементација решења
 - 7.3. Евалуација развијеног решења
 - 7.4. Анализа постигнутих резултата
8. Научни и стручни допринос
9. Будућа истраживања
10. Закључак
11. Литература

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Из изложеног се може закључити да кандидат Милош Дурковић испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању за одобрење израде докторске дисертације под насловом „Унапређење сервиса паметног саобраћаја применом технологије дигиталног близанца“. Кандидат Милош Дурковић поседује неопходна знања из информационих система и технологија, електронског пословања, паметног саобраћаја, *IoT* и технологије дигиталног близанца за успешан рад на докторској дисертацији. Тема припада ужој научној области Електронско пословање, мултидисциплинарна је и актуелна.

У дисертацији ће бити извршена анализа могућности за примену технологије дигиталног близанца у саобраћајним системима, прецизније, у сервисима паметног саобраћаја, као и њихов утицај на безбедност и ефикасност саобраћаја.

У дисертацији ће бити развијен модел дигиталног близанца за безбедност саобраћаја. Извршена анализа кључних фактора који утичу на понашање возача и саобраћајну инфраструктуру и предложен систем за предвиђање потенцијалних инцидената. Даљи рад на овој теми укључиће развој и интеграцију хардверских и софтверских компонената система. Биће спроведен експеримент над предложеним моделом и извршена анализа добијених резултата. Поред тога, биће испитана спремност стејкхолдера за имплементацију и дугорочну примену предложеног система у оквиру паметног саобраћаја. Резултати истраживања у докторској дисертацији биће објављени у часописима међународног значаја и саопштени на научним скуповима у земљи и иностранству.

На основу свега наведеног, комисија предлаже Наставно-научном већу ФОН-а да прихвати предложену тему и одобри израду пријављене докторске дисертације кандидата Милоша Дурковића под називом „Унапређење сервиса паметног саобраћаја применом технологије дигиталног близанца“. За менторе докторске дисертације предлаже се др Душан Бараћ, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду и др Данијела Стојановић, научни сарадник Института економских наука у Београду.

У Београду, 29.10.2025.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Душан Бараћ, редовни професор
Универзитет у Београду - Факултет организационих наука

др Данијела Стојановић, научни сарадник
Институт економских наука у Београду

др Маријана Деспотовић-Зракић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука

др Вељко Јеремић, редовни професор
Универзитет у Београду - Факултет организационих наука

др Синиша Сремац, редовни професор
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука