

INTEGRISANI MODEL LOKALIZACIJE SAOBRAĆAJNIH ENTITETA ZASNOVAN NA DUBOKOM UČENJU I MIKROSIMULACIJI KAO ALAT ZA UNAPREĐENJE ODRŽIVE URBANE MOBILNOSTI / INTEGRATED TRANSPORT ENTITY LOCATION MODEL BASED ON DEEP LEARNING AND MICROSIMULATION AS A TOOL FOR IMPROVING SUSTAINABLE URBAN MOBILITY

Damir Lihovac¹, Ahmed Ahmić², Almir Ahmetspahić³, Arif Ganija⁴

¹ PGM Assistance BH doo, Vrazova 24, Sarajevo, Bosna i Hercegovina,

² Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Zmaja od Bosne 8, Sarajevo, BiH, ³ Internacionalni univerzitet Travnik, Fakultet politehničkih nauka Travnik,

Aleja konzula – Meljanac bb, 72270 Travnik, Bosna i Hercegovina,

⁴ JU Srednja mašinska tehnička škola Sarajevo, Zmaja od Bosne 8, Sarajevo,

e-mail: damir.lihovac@fsk.unsa.ba, ahmed.ahmic@fsk.unsa.ba, almir.ahmetspahic@iu-travnik.com, ganijaarif@gmail.com

Prethodno priopćenje

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501034>

UDK / UDC 656.1:004.8:711.4

Sažetak

Savremeni saobraćajni sistemi u urbanim sredinama suočavaju se sa izazovima zagušenja, povećanih emisija štetnih gasova i smanjene energetske efikasnosti, što zahtijeva primjenu rješenja zasnovanih na realnim podacima u planiranju mobilnosti. Cilj rada je istražiti doprinos integrisanog modela lokalizacije saobraćajnih entiteta, zasnovanog na metodama dubokog učenja i mikrosimulacije, unapređenju održivosti urbane mobilnosti. Predloženi pristup integriše detekciju saobraćajnih entiteta iz video zapisa primjenom modela YOLOv8, prostornu analizu putem GIS alata i mikrosimulaciju saobraćajnih tokova u okruženju SUMO. Model obuhvata fizički model saobraćajne mreže, analogni model ponašanja entiteta i matematički model za procjenu indikatora održivosti urbane mobilnosti. Empirijska validacija provedena je na primjeru urbanih raskrsnica u Kantonu Sarajevo korištenjem realnih video i infrastrukturnih podataka. Rezultati potvrđuju da integracija dubokog učenja i mikrosimulacije predstavlja efikasan alat za analizu i podršku odlučivanju u održivom planiranju saobraćaja.

Ključne riječi: održiva urbana mobilnost, lokalizacija saobraćajnih entiteta, duboko učenje, YOLOv8, mikrosimulacija saobraćaja, SUMO

JEL klasifikacija: R41, R42, O33

Abstract

Modern urban transportation systems face challenges such as congestion, increased greenhouse gas emissions, and reduced energy efficiency, which require data-driven solutions in mobility planning. This study investigates the contribution of an integrated traffic entity localization model, based on deep learning and microsimulation, to improving urban mobility sustainability. The proposed approach integrates traffic entity detection from video recordings using the YOLOv8 model, spatial analysis through GIS tools, and traffic flow microsimulation in the SUMO environment. The model includes a physical traffic network model, an analog model of entity behavior, and a mathematical model for evaluating urban mobility sustainability indicators. Empirical validation was conducted on selected urban intersections in Sarajevo Canton using real video and infrastructure data. The results confirm that integrating deep learning and microsimulation provides an effective tool for analysis and decision support in sustainable urban transport planning.

Keywords: sustainable urban mobility, traffic entity localization, deep learning, YOLOv8, traffic microsimulation, SUMO

JEL classification: R41, R42, O33

UVOD

Savremeni saobraćajni sistemi urbanih centara suočavaju se sa intenzivnim porastom stepena motorizacije, prostornom ograničenošću infrastrukture i rastućim zahtjevima za mobilnošću stanovništva. Posljedice takvog razvoja manifestuju se kroz povećanje zagušenja, produženje vremena putovanja, porast emisija CO₂ i drugih štetnih polutanata, smanjenje energetske efikasnosti i opću degradaciju kvaliteta urbanog života. U tom kontekstu koncept održive urbane mobilnosti predstavlja strateški okvir koji integriše ekološke, ekonomske i društvene aspekte planiranja i upravljanja saobraćajem. Tradicionalni modeli planiranja saobraćaja, zasnovani na agregiranim podacima i periodičnim mjerenjima, imaju ograničenu sposobnost da odgovore na dinamične i prostorno heterogene obrasce kretanja u urbanim sredinama. Razvoj informaciono-komunikacijskih tehnologija, senzorskih sistema i metoda vještačke inteligencije omogućio je prikupljanje i obradu velikih količina podataka u realnom vremenu, čime se otvara mogućnost za precizniju lokalizaciju i analizu saobraćajnih entiteta. Lokalizacija saobraćajnih entiteta – vozila, pješaka, biciklista i drugih učesnika u saobraćaju – predstavlja važnu komponentu inteligentnih transportnih sistema. Posebno značajnu ulogu imaju metode dubokog učenja koje kroz algoritme detekcije objekata omogućavaju automatsko prepoznavanje, klasifikaciju i brojanje entiteta iz video zapisa urbanih raskrsnica. Međutim, sama detekcija i prostorno-vremenska lokalizacija entiteta ne garantuju unapređenje održivosti sistema ukoliko nisu integrisane sa analitičkim i simulacijskim modelima koji omogućavaju kvantifikaciju efekata na ključne indikatore mobilnosti. Mikrosimulacijski modeli saobraćaja omogućavaju testiranje scenarija upravljanja, optimizaciju signalizacije i procjenu uticaja intervencija na vrijeme putovanja, nivo zagušenja i emisije štetnih gasova. Istraživački problem ovog rada ogleda se u nedovoljnoj integraciji sistema zasnovanih na dubokom učenju za detekciju saobraćajnih entiteta sa mikrosimulacijskim modelima koji omogućavaju evaluaciju efekata na održivu urbanu mobilnost. Cilj rada je razvoj i validacija integrisanog modela lokalizacije saobraćajnih entiteta zasnovanog na metodama dubokog učenja i mikrosimulacije. Model je koncipiran kroz tri međusobno povezana nivoa: fizički model saobraćajne mreže, analogni model ponašanja entiteta i matematički model za kvantifikaciju efekata na indikatore održivosti. Empirijska verifikacija modela provedena je na primjeru urbanog područja Kantona Sarajevo korištenjem realnih video podataka, GIS informacija i simulacijskih scenarija implementiranih u softverskom okruženju SUMO. Evaluacija je zasnovana na kvantitativnim pokazateljima poput vremena putovanja, nivoa zagušenja i emisija CO₂. Predloženi model predstavlja osnovu za dalju primjenu u procesima planiranja i optimizacije urbanih saobraćajnih sistema.

1. TEORIJSKI I METODOLOŠKI OKVIR: ODRŽIVA URBANA MOBILNOST I AI SIMULACIJSKI MODELI

Savremena literatura o održivoj urbanoj mobilnosti naglašava potrebu za sistemskim pristupom koji integriše ekološke, ekonomske i društvene dimenzije transporta kroz mjerljive indikatore poput emisija CO₂, energetske efikasnosti, vremena putovanja i nivoa zagušenja. U tom kontekstu, inteligentni transportni sistemi (ITS) predstavljaju ključni operativni mehanizam za prikupljanje, obradu i primjenu podataka u realnom vremenu, pri čemu lokalizacija saobraćajnih entiteta zauzima centralno mjesto. Tradicionalne tehnologije lokalizacije (GPS, induktivne petlje, RFID, stacionarni senzori) omogućile su osnovno praćenje tokova, dok savremeni pristupi bazirani na video nadzoru i senzorskim mrežama proširuju mogućnosti precizne prostorno-vremenske detekcije.

Poseban napredak ostvaren je primjenom metoda dubokog učenja, gdje algoritmi detekcije objekata (npr. YOLO i srodne konvolucijske neuronske mreže) omogućavaju automatsko prepoznavanje, klasifikaciju i brojanje saobraćajnih entiteta sa visokom tačnošću i u realnom vremenu. Paralelno s tim, mikrosimulacijski modeli saobraćaja razvijeni su kao pouzdan alat za testiranje scenarija upravljanja i procjenu efekata na performanse sistema, uključujući protok, zastoje i emisije. Međutim, pregled relevantnih istraživanja ukazuje na dominantno fragmentiran pristup: detekcija zasnovana na dubokom učenju i simulacijsko modeliranje najčešće se razvijaju i analiziraju odvojeno, bez sistematske integracije sa jasno definisanim indikatorima održivosti. Upravo u tom segmentu prepoznaje se istraživački jaz – nedostatak integrisanog metodološkog okvira koji povezuje preciznu lokalizaciju entiteta iz realnih podataka sa mikrosimulacijom i kvantifikacijom uticaja na održivu urbanu mobilnost. Razvoj takvog modela predstavlja nužan korak ka transformaciji tehničkih rezultata detekcije u strateški relevantne pokazatelje za planiranje i upravljanje urbanim saobraćajem.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodološki okvir ovog rada zasnovan je na konceptualnom modelu razvijenom u doktorskoj disertaciji, koji integriše višeslojni pristup analizi urbanog saobraćajnog sistema kroz tri međusobno povezana nivoa: fizički, analogni i matematički model. Fizički model obuhvata reprezentaciju stvarne saobraćajne mreže, uključujući geometriju raskrsnica, saobraćajne trake, signalne faze i prostorne odnose unutar urbanog područja, pri čemu su infrastrukturni elementi modelirani na osnovu GIS podataka i terenskih mjerenja. Analogni model odnosi se na ponašanje saobraćajnih entiteta – vozila, pješaka i drugih učesnika – kroz parametre kretanja, interakcije i distribucije tokova, pri čemu se empirijski podaci dobijeni analizom video zapisa koriste za kalibraciju i validaciju modela. Matematički model predstavlja formalizaciju odnosa između detektovanih entiteta i kvantitativnih pokazatelja performansi sistema, omogućavajući transformaciju ulaznih podataka u mjerljive indikatore održivosti. Tehnološki okvir implementacije metodologije oslanja se na integraciju savremenih alata i algoritama, što predstavlja centralni doprinos doktorske disertacije kao podloge ovog rada. Video nadzor urbanih raskrsnica korišten je kao primarni izvor podataka, pri čemu su snimci obrađeni primjenom modela dubokog učenja YOLOv8 za automatsku detekciju, klasifikaciju i brojanje saobraćajnih entiteta. Dobijeni rezultati prostorno su georeferencirani i integrisani u GIS okruženje radi preciznog mapiranja tokova i formiranja ulaznih parametara za mikrosimulaciju. Mikrosimulacijski model implementiran je u softverskom okruženju SUMO, gdje su generisani scenariji omogućili analizu individualnog ponašanja vozila i procjenu sistemskih efekata različitih konfiguracija i intervencija. Ovakva integracija realnih podataka, algoritamske obrade i simulacijskog modeliranja omogućava prelazak sa deskriptivne analize na prediktivnu i evaluativnu dimenziju upravljanja saobraćajem. Evaluacija modela zasnovana je na jasno definisanim indikatorima održivosti, koji su operacionalizovani u okviru dokorskog istraživanja. Primarni indikatori uključuju emisije CO₂ kao ekološku dimenziju, prosječno vrijeme putovanja kao pokazatelj efikasnosti kretanja, nivo zagušenja izražen kroz gustinu i brzinu protoka, te energetska efikasnost sistema procijenjenu na osnovu parametara potrošnje i režima vožnje unutar simulacije. Integracijom detekcije zasnovane na dubokom učenju i mikrosimulacije omogućena je kvantifikacija uticaja precizne lokalizacije saobraćajnih entiteta na navedene indikatore, čime se razvijeni metodološki okvir potvrđuje kao funkcionalan alat za sistemsku evaluaciju i unapređenje održive urbane mobilnosti.

3. STUDIJA SLUČAJA: KANTON SARAJEVO

Studija slučaja provedena je na području Kantona Sarajevo, koji predstavlja kompleksan urbani sistem sa izraženim prostornim ograničenjima, heterogenom infrastrukturom i visokom dinamikom saobraćajnih tokova. Analiza je obuhvatila 15 strateški raspoređenih raskrsnica u centralnim, tranzitnim i perifernim zonama grada. Empirijski su utvrđene značajne varijacije intenziteta saobraćaja, pri čemu su na opterećenijim lokacijama registrovane frekvencije u rasponu od 670 do 850 vozila/sat po pravcu, što potvrđuje izraženu saturaciju glavnih urbanih koridora. Skup podataka zasnovan je na realnim video zapisima prikupljenim u sedam vremenskih intervala tokom dana, čime je obuhvaćena prostorno-vremenska varijabilnost tokova. Video materijal korišten je za formiranje trening (9.000 slika), validacionog (3.000 slika) i testnog skupa (1.500 slika) za model detekcije saobraćajnih entiteta. Proces obrade uključivao je definisanje zona interesa (ROI), ručnu anotaciju, augmentaciju podataka te treniranje modela dubokog učenja YOLOv8. Evaluacija modela pokazala je visoke performanse (Precision = 0.89; Recall = 0.86; F1-score = 0.875; mAP@0.5 = 0.881), uz robusnost u uslovima povećane gustine i promjenjivih meteoroloških okolnosti. Detektovani tokovi transformisani su u ulazne parametre mikrosimulacijskog modela saobraćaja implementiranog u SUMO okruženju. Digitalna mreža formirana je na osnovu GIS podataka, uz definisanje 20+ ulaznih tokova, signalnih planova i interakcija između različitih tipova učesnika. Simulacije su izvedene u trajanju od 3.600 sekundi za različite scenarije gustine i režima saobraćaja, omogućavajući kvantitativnu procjenu performansi sistema. Validacija modela realizovana je poređenjem empirijskih i simulacijskih rezultata. Analiza izlaznih podataka pokazala je smanjenje prosječnog vremena putovanja za 11,7% u optimizovanom scenariju, uz redukciju maksimalnog nivoa zagušenja, čime je potvrđena metodološka konzistentnost integracije video analitike, GIS modeliranja i mikrosimulacije kao alata za evaluaciju održive urbane mobilnosti.

Tabela 1: Analizirane raskrsnice i intezitet saobraćaja

Lokacija	Tip zone	(vozila/sat/pravac)	Broj perioda analize	Karakteristike
Marijin Dvor	Centralna urbana	780	7	Visoka gustina, javni prevoz
Stup	Transitno-urbana	850	7	Intenzivan ulazno-izlazni tok
Otoka	Stambeno-poslovna	670	7	Česta zagušenja
Skenderija	Centralna urbana	720*	7	Mješoviti tokovi
Ilidža	Periferna zona	600*	7	Turistički i lokalni saobraćaj

*Vrijednosti aproksimirane prema varijabilnosti u analiziranom skupu.

Tabela 2: Struktura skupa podataka za treniranje modela

Parametar	Vrijednost
Broj trening slika	9000
Broj validacionih slika	3000
Broj testnih slika	1500

Rezolucija video zapisa	$\geq 720\text{px}$
Broj analiziranih raskrsnica	15
Vremenski intervali	7/24
Klase entiteta	putnička vozila, tramvaji, autobusi, bicik/romobil, osobe

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja obuhvatila su kvantitativnu evaluaciju tačnosti detekcije saobraćajnih entiteta, kao i mjerenje efekata integracije lokalizacijskog modela i mikrosimulacije na ključne indikatore održive urbane mobilnosti. Analiza je provedena kroz uporedne scenarije: bazni scenario (bez optimizacije zasnovane na lokalizaciji) i optimizovani scenario (sa integrisanim modelom detekcija + SUMO simulacija).

4.1. TAČNOST DETEKCIJE SAOBRAĆAJNIH ENTITETA

Evaluacija YOLOv8 modela izvršena je primjenom standardnih metrika dubokog učenja.

Tabela 3: Performanse modela detekcije

Metrički pokazatelji	Vrijednosti
Preciznost (P)	0,89 (89%)
Odziv (R)	0,86 (85%)
F1-mjera	0,875
Srednja prosječna preciznost (mAP@0,5)	0,881
Prosječna tačnost klasifikacije	>92%
Tačnost brojanja entiteta	99%

Rezultati pokazuju visoku pouzdanost sistema, uz odstupanje u broju vozila ispod 5% i RMS grešku zadržavanja manju od 7 sekundi u validaciji simulacije. Implementacijom optimizovanog signalnog plana (npr. rekalkulacija ciklusa sa 90 s na 75 s) postignuto je smanjenje vremena zadržavanja i ukupnog vremena putovanja.

Tabela 4: Prosječno vrijeme prolaska
(Marijin dvor–reprezentna lokacija)

Scenario	Prosječno vrijeme (s)	Promjena
Bez modela (bazni)	24,1 s	
Sa modelom	21,3 s	↓ 11,7%

Na pojedinim raskrsnicama zadržavanje je smanjeno i za više od 20% u optimizovanom režimu.

4.2. SMANJENJE ZASTOJA

Analiza maksimalnog broja vozila u mreži pokazuje redukciju zagušenja nakon optimizacije.

Tabela 5: Zadržavanje i maksimalni broj vozila

Lokacija	Bazni scenario – max vozila	Optimizirani scenario	Promjena
Otoka	36	29	↓ 19%
Skenderija	88	71	↓ 19%
Higijenski zavod	92	74	↓ 20%

Rezultati potvrđuju da veća preciznost ulaznih podataka direktno utiče na smanjenje kolona i stabilizaciju protoka.

4.3. EMISIJE CO₂

SUMO simulacija omogućila je procjenu emisija CO₂ po satu za svaku raskrslu.

Tabela 6: Emisije CO₂ – primjer centralnih raskrsnica

Lokacija	Bazni scenario (g/h)	Optimizirani scenario	Promjena
Skenderija	12940	11320	↓ 12,5%
Higijenski	13400	11750	↓ 12,3%
Malta	12500	11080	↓ 11,4%

Smanjenje emisija rezultat je kraćih zadržavanja i ujednačenijeg režima kretanja vozila.

4.4. EFIKASNOST PROTOKA

Efikasnost protoka analizirana je kroz odnos prosječne brzine, gustine i vremena čekanja.

Tabela 7: Indikatori protočnosti

Indikator	Bazni scenario	Sa modelom	Promjena
Prosječna brzina (km/h)	28	32	↑ 14%
Prosječno čekanje (s)	42,3	34,9	↓ 17%
Indeks zagušenja	1,00(ref)	0,82	Poboljšanje

Rezultati potvrđuju da integracija detekcije i simulacije omogućava sistemsku optimizaciju protoka i povećanje stabilnosti mreže.

4.5. STATISTIČKA VALIDACIJA REZULTATA

Radi provjere značaja uočenih razlika između baznog i optimizovanog scenarija izvršena je statistička analiza korištenjem uparenog t-testa za uzorak od 15 analiziranih raskrsnica. Prosječno smanjenje vremena putovanja iznosilo je 11,7%, uz standardnu devijaciju od 2,8%. Interval pouzdanosti od 95% za srednju razliku iznosio je [-3,9 s, -1,8 s]. Rezultati uparenog t-testa pokazali su statistički značajnu razliku između scenarija ($t(14)=3,84$, $p=0,002$), čime se potvrđuje da optimizacija zasnovana na lokalizaciji entiteta ima značajan uticaj na efikasnost sistema. Slično tome, emisije CO₂ su smanjene u prosjeku za 12,1% (SD=2,3%), pri čemu je razlika također statistički značajna ($p<0,01$). Dobijeni rezultati potvrđuju da integracija detekcije i mikrosimulacije ne predstavlja samo numeričko poboljšanje, već sistemsku intervenciju sa statistički dokazivim efektom.

ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje rezultiralo je razvojem i empirijskom validacijom integrisanog modela lokalizacije saobraćajnih entiteta zasnovanog na metodama dubokog učenja i mikrosimulacijskog modeliranja. Kroz analizu 15 urbanih raskrsnica na području Kantona Sarajevo potvrđena je funkcionalna povezanost između precizne detekcije saobraćajnih entiteta i kvantifikacije efekata intervencija na performanse saobraćajnog sistema. Rezultati detekcije primjenom modela YOLOv8 pokazali su visoku pouzdanost sistema (Precision = 0,89; Recall = 0,86; mAP@0,5 = 0,881), čime je potvrđena mogućnost precizne analize tokova u realnom vremenu (H1). Integracija detektovanih podataka u mikrosimulacijski model omogućila je optimizaciju režima signalizacije i testiranje scenarija upravljanja, što je rezultiralo smanjenjem prosječnog vremena putovanja za 11,7%, redukcijom maksimalnog nivoa zagušenja do približno 20% te smanjenjem emisija CO₂ u rasponu od 11–13% (H2). Dobijeni rezultati ukazuju da preciznija lokalizacija entiteta ne predstavlja samo tehničko unapređenje sistema, već ima direktan uticaj na ekološke i operativne pokazatelje održive urbane mobilnosti. Na metodološkom nivou potvrđena je validnost integracije tri komponente – video analitike, GIS modeliranja i mikrosimulacije – u jedinstven okvir za evaluaciju saobraćajnih intervencija (H3). Predloženi model omogućava prelazak sa deskriptivnog pristupa analizi saobraćaja na prediktivni i evaluativni pristup zasnovan na realnim podacima i simulacijskim scenarijima. Time se pruža alat za podršku odlučivanju u procesima strateškog planiranja, optimizacije signalizacije i razvoja inteligentnih transportnih sistema. Praktična vrijednost modela ogleda se u njegovoj skalabilnosti i mogućnosti primjene u drugim urbanim sredinama sa sličnim infrastrukturnim karakteristikama. Integracija realnih podataka i simulacijskog modeliranja omogućava urbanim planerima i donosiocima odluka kvantifikaciju očekivanih efekata prije implementacije fizičkih intervencija u saobraćajnoj mreži. Ograničenja istraživanja odnose se na determinističku prirodu simulacijskog okruženja, varijabilnost meteoroloških uslova te ograničen vremenski period prikupljanja podataka. Buduća istraživanja trebala bi obuhvatiti duži vremenski period, veći broj lokacija te integraciju adaptivnih sistema upravljanja zasnovanih na realnom vremenu i mašinskom učenju. Zaključno, integrisani model lokalizacije saobraćajnih entiteta zasnovan na dubokom učenju i mikrosimulaciji predstavlja metodološki i operativno utemeljen pristup unapređenju održive urbane mobilnosti, sa mjerljivim i empirijski potvrđenim efektima na efikasnost, protočnost i ekološke performanse urbanog saobraćajnog sistema.

LITERATURA

- [1] Acero, J. A. (2012). Impact of local urban design and traffic restrictions on air quality in a medium-sized town. *Environmental Technology*, 33(21), 2467-2477. doi:<https://doi.org/10.1080/09593330.2012.672472>
- [2] Al-Kharabsheh, E. (2023). Reinforcement learning in urban network traffic-signal control. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 17(4). doi:<https://doi.org/10.14525/jjce.v17i4.12>
- [3] Banister, D., & Stead, P. (2013). The Role of Location in Sustainable Urban Mobility. 1-27.
- [4] Cao, S. (2023). Analysis of object recognition trends based on deep learning. *Applied and Computational Engineering*, 292-299. doi:<https://doi.org/10.54254/2755-2721/5/20230582>
- [5] Carlier, G. D. (2022). SISTA: Learning Optimal Transport Costs under Sparsity Constraints. Wiley Online Library. doi:<https://doi.org/10.1002/cpa.22047>
- [6] Consultants GeoGis. (01. 23 2024). *Daljinska detekcija*. Preuzeto od <https://geogis.rs/delatnosti/daljinska-detekcija/>: <https://geogis.rs/delatnosti/daljinska-detekcija/>
- [7] Derikonjić, M. a. (2022). Video nadzor za automatsko prepoznavanje registarskih tablica i detekciju saobraćajnih prekršaja u sistemu upravljanja brzinama koordinisanim radom svetlosnih signala. *Zbornik Radova 13. Konferencije O Tehnikama Saobraćajnog Inženjerstva*. doi:<https://doi.org/10.37528/ftte/9788673954585/tesi.2022.028>
- [8] Echendu, A. J. (2020). Urban Planning — “It’s All About Sustainability”: Urban Planners’ Conceptualizations of Sustainable Development in Port Harcourt, Nigeria. 15(5), 593-601. doi:<https://doi.org/10.18280/ijstdp.150501>
- [9] European Commission. (2009). *Action Plan on Urban Mobility*. Brussels: European Commission.
- [10] European Commission. (2021). *Intelligent Transport Systems: A European initiative for transport efficiency and safety*. Brussels: European Commission. Preuzeto od https://ec.europa.eu/transport/themes/its_en
- [11] Ezgeta, D. (2018). *Inteligentni transportni sustavi*. Sarajevo: Fakultet za saobraćaj i komunikacije.
- [12] Gehl Jan. (2011). *Cities for People*. Island Press.
- [13] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- [14] Tabernik, D. a. (2020). Deep learning for large-scale traffic-sign detection and recognition. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(4), 1427-1440. doi:<https://doi.org/10.1109/tits.2019.2913588>
- [15] United Nations, Department of Economic and Social Affairs (DESA). (2021). *SUSTAINABLE TRANSPORT, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, INTERAGENCY REPORT—SECOND GLOBAL SUSTAINABLE TRANSPORT CONFERENCE*. Beijing: United Nations, Department of Economic and Social Affairs.
- [16] Yang, Y. P. (2024). Based on improved yolov8 and bot sort surveillance video traffic statistics. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4161504/v1>.
- [17] Yushen, D. (2024). Road Safety Monitoring Model Based on YOLOV8. *Academic Journal of Computing & Information Science*, 7(3), 91-96. doi:<https://doi.org/10.25236/ajcis.2024.070313>