

## Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu<sup>1</sup>

Marina Lipovac Tanasković, MaltaPRO; [maltapro.consulting@gmail.com](mailto:maltapro.consulting@gmail.com)  
 Jasmina Maravić, CILT d.o.o.; [jjovanovic@cilt.rs](mailto:jjovanovic@cilt.rs)

*Rezime: Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu predstavlja jednu od značajnijih tehnoloških revolucija koja menja način na koji gradovi pristupaju mobilnosti, bezbednosti i razvoju infrastrukture. Veštačka inteligencija transformiše savremeno saobraćajno inženjerstvo kroz alate za analizu, predviđanje i upravljanje kompleksnim sistemima kretanja u urbanim sredinama.*

*U domenu saobraćajnog planiranja, AI modeli koriste duboke neuronske mreže za modelovanje potražnje, analizirajući ogromne količine podataka iz heterogenih izvora poput mobilnih mreža, GPS uređaja i IoT senzora kako bi generisali IC matrice. Fokus se pomera sa tradicionalnih, statičkih modela na dinamičke sisteme koji uče iz ponašanja korisnika u realnom vremenu, čime se omogućava inženjerima da planiraju fleksibilne mreže vidovne raspodele, koje su otpornije na nepredviđene događaje i saobraćajna opterećenja.*

*Kada je reč o projektovanju saobraćajnica i raskrsnica, naglasak više nije na mikro-simulacijama već na optimizaciji mreže, tj komunikacija raskrsnica međusobno, a sve radi postizanja maksimalne propusne moći uz minimalne vremenske gubitke i visok nivo bezbednosti saobraćaja. Idući korak dalje inženjeri danas primenjuju i korisne „digitalne blizance“ i napredne simulacije zasnovane na neuronskim mrežama čitavog grada. U fazi izvođenja i upravljanja, AI funkcioniše kao centralni mozak sistema, omogućavajući trenutnu detekciju incidenata i adaptivnu kontrolu „zelenih talasa“. Algoritmi dubokog učenja optimizuju saobraćajne tokove, čime se direktno smanjuju emisije štetnih gasova i buka, dok se bezbednost podiže na viši nivo.*

*U radu je objašnjena upotreba veštačke inteligencije u planiranju pametnih gradova, projektovanju i izvođenju, kroz prizmu inostrane prakse. Biće osvrta na već dostignute sisteme koji se koriste, na testiranja kao priprema za buduće trendove koji se očekuju u skorijoj budućnosti, ali i sisteme koji bi mogli da nas očekuju u daljoj budućnosti: V2V (vozilo-vozilo) i V2I (vozilo-infrastruktura).*

*Ključne reči: veštačka inteligencija, pametni gradovi, digitalni blizanci, ITS, V2V, V2I.*

### 1 UVOD

Brz proces urbanizacije, praćen rastom stanovništva i brojem motornih vozila, generiše izuzetno kompleksne izazove u upravljanju urbanim transportnim sistemima. Tradicionalne metode upravljanja i projektovanja, zasnovane na statičkim i determinističkim modelima koji se optimizuju van mreže (off-line), pokazuju ozbiljna ograničenja u uslovima izrazito dinamičkih, promenljivih i nepredvidivih saobraćajnih

---

<sup>1</sup> CC-BY licenca

tokova. Saobraćajna zagušenja, povećana emisija štetnih gasova, buka i saobraćajne nezgode direktno narušavaju kvalitet života i uzrokuju značajne ekonomske gubitke u urbanim sredinama.

U ovom kontekstu, veštačka inteligencija (AI) i mašinsko učenje (ML) se pojavljuju kao moćna tehnološka rešenja sposobna da transformišu saobraćajni sektor u inteligentan, predvidljiv i otporan ekosistem. AI u saobraćajnom inženjerstvu podrazumeva primenu naprednih algoritama, neuronskih mreža i sistema za analizu velikih količina podataka (engl. Big Data) u realnom vremenu, omogućavajući automatizaciju kontrole, predviđanje rizika i donošenje optimalnih odluka. Integracija AI sistema sa Internetom stvari (IoT) i 5G komunikacionim mrežama stvara digitalni nervni sistem gradova, pružajući osnovu za razvoj pametnih gradova (engl. Smart Cities) i održive mobilnosti.

Cilj ovog rada je da pruži sažet, tehnički ispravan i kritički pregled mogućnosti i efekata primene veštačke inteligencije u saobraćajnom planiranju, projektovanju i operativnom upravljanju, sa posebnim fokusom na inostranu inženjersku praksu i empirijske rezultate implementacije.

## **2 SAOBRAĆAJNO PLANIRANJE I PROJEKTOVANJE: INTEGRACIJA DIGITALNIH BLIZANACA**

### **2.1 Saobraćajno planiranje i neuronske mreže**

U domenu saobraćajnog planiranja, tradicionalni statički modeli sve više bivaju zamenjeni dinamičkim sistemima koji uče iz ponašanja korisnika u realnom vremenu. AI modeli, pre svega duboke neuronske mreže i grafovske neuronske mreže (eng. Graph Neural Networks - GNN), koriste se za modelovanje saobraćajne potražnje analizom ogromnih količina heterogenih i više-izvornih podataka (engl. heterogeneous data) [1, 4]. Ovi podaci se prikupljaju iz mobilnih mreža, GPS uređaja, RFID transpondera i IoT senzora postavljenih duž putne mreže.

Korišćenjem ovih podataka, AI algoritmi imaju sposobnost da automatski generišu matrice izvor-cilj (IC matrice, eng. Origin-Destination - OD matrices), koje precizno prikazuju kretanje stanovništva kroz urbanu mrežu. To omogućava saobraćajnim inženjerima da planiraju fleksibilne i otporne mreže vidovne raspodele (engl. modal split) koje mogu uspešno da se prilagode nepredviđenim događajima, radovima na putu ili naglim promenama saobraćajnog opterećenja. Takođe, primena mašinskog učenja i vremenskih serija poput LSTM (engl. Long Short-Term Memory) neuronskih mreža omogućava predviđanje dugoročnih trendova urbanog razvoja i prostorne pristupačnosti, pružajući donosiocima odluka naučno utemeljenu podršku u planiranju nove infrastrukture.

### **2.2 Projektovanje saobraćajnica i digitalni blizanci**

Tradicionalno projektovanje raskrsnica i saobraćajnica se decenijama oslanjalo na mikro-simulacione modele (poput VISSIM-a) koji analiziraju izolovane objekte. Međutim, savremeni AI pristup pomera fokus sa pojedinačnih mikro-simulacija na mrežnu optimizaciju, odnosno međusobnu komunikaciju raskrsnica, radi postizanja maksimalne propusne moći celokupne ulične mreže uz minimalne vremenske gubitke i visok nivo bezbednosti.

U ovoj fazi, inženjeri danas primenjuju koncept 'digitalnih blizanaca' (engl. Digital Twins) i napredne simulacije čitavog grada zasnovane na neuronskim mrežama. Digitalni blizanac predstavlja vernu digitalnu repliku fizičkog saobraćajnog sistema u realnom vremenu, koja se neprekidno ažurira podacima sa senzora i kamera. Na ovaj način, simulacije mogu predvideti kako će izmena geometrije neke raskrsnice, promena smeru ulica ili izgradnja novog objekta uticati na tokove saobraćaja u celom gradu.

Ovaj nivo optimizacije se u bliskoj budućnosti proširuje na kooperativnu, povezanu i automatizovanu mobilnost (eng. Cooperative, Connected and Automated Mobility CCAM) kroz protokole vozilo-vozilo (V2V) i vozilo-infrastruktura (V2I) komunikacije. V2V komunikacija omogućava vozilima da razmenjuju podatke o brzini i poziciji radi izbegavanja konflikta, dok V2I omogućava vozilima da direktno komuniciraju sa pametnom putnom signalizacijom, optimizujući brzinu kretanja i prolaz kroz raskrsnice. Integracija digitalnih blizanaca sa sistemima upravljanja putnom infrastrukturom (RAMS - Road Asset Management System) podrazumeva kontinuirano povezivanje podataka sa terena (saobraćaj, stanje kolovoza, uslovi okoline puta) sa procesima planiranja, održavanja i finansiranja putne infrastrukture.

### 3 OPERATIVNO UPRAVLJANJE I STUDIJE SLUČAJA U INOSTRANOJ PRAKSI

U fazi izvođenja i upravljanja saobraćajem, veštačka inteligencija funkcioniše kao centralni mozak sistema, omogućavajući adaptivnu kontrolu svetlosnih signala i dinamičku optimizaciju 'zelenih talasa'. Savremeni inteligentni transportni sistemi (ITS) primenjuju duboko pojačano učenje (engl. Deep Reinforcement Learning - DRL), posebno model Deep Q-Network (DQN), za dinamičko prilagođavanje ciklusa semafora na osnovu podataka u realnom vremenu. DQN model uči optimalne strategije upravljanja kroz definisanje prostora stanja (protok, dužina reda čekanja, stanje signala), prostora akcija (promena trajanja faza zelenog svetla i ciklusa) i funkcije nagrade (povećanje protoka, smanjenje vremenskih gubitaka i broja nezgoda) [2].

Praktična primena ovih modela u inostranoj inženjerskoj praksi potvrđena je kroz tri reprezentativne studije slučaja koje demonstriraju različite arhitekture i efekte upravljanja [5, 6, 7]:

**1. Pitsburg (SAD) - SURTRAC:** Ovaj sistem predstavlja decentralizovani, multi-agentski adaptibilni sistem kontrole semafora razvijen na Robotics Institute, Carnegie Mellon University. Svaka raskrsnica deluje samostalno, tako da pomoću radarskih i video senzora prepoznaje dolazeće klastere vozila, optimizuje sopstvenu fazu u intervalima od 1-2 sekunde i deli progresne odlive sa susednim raskrsnicama kako bi se formirali koordinisani zeleni talasi. Empirijski rezultati pokazuju skraćenje vremena putovanja za 25-26%, smanjenje čekanja na raskrsnicama za 40-41%, smanjenje broja zaustavljanja za 31% i smanjenje štetnih emisija CO<sub>2</sub> za 21% [7].

**2. Hangdžou (Kina) - Alibaba ET City Brain:** Ovaj sistem predstavlja centralizovanu platformu u oblaku koja koristi duboke neuronske mreže za obradu real-time video zapisa i GPS trajektorija sa uličnih kamera i senzora celog grada. ET City Brain koordinira preko 128 raskrsnica, ostvarujući tačnost identifikacije saobraćajnih incidenata od preko 92%. Sistem je povećao prosečnu brzinu kretanja vozila za 15% (skraćenje dnevnog putovanja za prosečno 3 minuta) i skratio vreme dolaska hitne pomoći i vatrogasnih službi za čak

50% (prosečno 7 minuta brže na odredištu) kroz automatsko otvaranje zelenog koridora [5].

**3. London (UK) - RTO, SCOOT 8 AI & Yunex FUSION:** Transport for London (TfL) sprovodi sveobuhvatnu transformaciju mreže kroz Real Time Optimiser (RTO) platformu. Najnoviji sistem SCOOT 8 AI koristi prediktivne AI algoritme za prognozu saobraćajne potražnje i sprečavanje zagušenja do 30 minuta unapred, smanjujući vreme putovanja za dodatnih 15% u odnosu na prethodne reaktivne sisteme. Istovremeno, podsistem Yunex FUSION omogućava multimodalno modelovanje, čime se optimizacija ne vrši isključivo za putničke automobile, već se prioritet dinamički dodeljuje aktivnim vidovima transporta (pešaci, biciklisti) i javnom prevozu (autobusi), ciljajući ukupno smanjenje vremenskih gubitaka u mreži do 14%.[6]

*Tabela 1: Uporedni prikaz tehničkih rešenja i kvantitativnih efekata u saobraćaju*

| <i>Sistem i Lokacija</i>                        | <i>Tehnološki pristup i AI modeli</i>                                                                        | <i>Kvantitativni efekti i poboljšanja</i>                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>SURTRAC<br/>Pittsburg, SAD</i>               | <i>Decentralizovani multi-agentski sistemi, 1-2s lokalna re-optimizacija, lokalna V2X komunikacija [7].</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Putovanje: -25% do -26%</li> <li>• Čekanje: -40% do -41%</li> <li>• Zaustavljanja: -31%</li> <li>• Emisije CO2: -21%</li> </ul>                  |
| <i>Alibaba ET City Brain<br/>Hangdžou, Kina</i> | <i>Centralizovana cloud-platforma, MaxCompute, duboke neuronske mreže, real-time video analitika [5].</i>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brzina vozila: +15%</li> <li>• Detekcija incidenata: &gt;92%</li> <li>• Odziv hitnih službi: -50%</li> <li>• Kapacitet autobusa: +17%</li> </ul> |
| <i>SCOOT 8 AI &amp; FUSION<br/>London, UK</i>   | <i>Prediktivni AI (prognoza demand-a do 30 min unapred), multimodalno FUSION modelovanje saobraćaja [6].</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dodatno putovanje: -15%</li> <li>• Ukupna kašnjenja: -14%</li> <li>• Brža detekcija incidenata: +40%</li> </ul>                                  |

## 4 PRAĆENJE INFRASTRUKTURE I BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA

„Kompjuterski vid“ igra ključnu ulogu u automatskom nadzoru i detekciji incidenata. Konvolucione neuronske mreže (CNN) koriste se za prepoznavanje i kategorizaciju vozila, detekciju pešaka, kao i za automatsko prepoznavanje saobraćajnih znakova (engl. Traffic Sign Recognition - TSR). CNN modeli ostvaruju izuzetnu tačnost od 98.98% na Bhubaneswar Traffic Sign Benchmark skupu podataka, nadmašujući tradicionalni metod potpornih vektora (eng. Support Vector Machine, SVM) koji dostiže 98.33% [3].

Pored regulisanja toka, digitalizacija i AI se intenzivno primenjuju u održavanju putne mreže. Tradicionalni reaktivni pristupi zamenjuju se prediktivnim održavanjem kolovoza i mostova primenom integracije sa sistemima upravljanja putnom infrastrukturom (RAMS). Korišćenjem senzora raspoređenih duž infrastrukture — kao što su akcelerometri i piezoelektrični senzori za merenje težine vozila u pokretu (WIM - Weigh-in-Motion) — prate se vibracije, opterećenja i strukturni stres u realnom vremenu [11].

Zahvaljujući primeni „edge“ računarstva (obrada podataka na 'ivici' mreže pomoću pametnih kamera), CNN modeli detektuju pukotine i udarne rupe u realnom vremenu direktno na terenskim uređajima [13]. Ovo rešenje eliminiše prenos ogromnih video zapisa u centralni sistem, prenoseći samo koordinate i kategoriju oštećenja, čime se optimizuje mrežni protok [11].

U domaćoj i regionalnoj praksi, istraživanja Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu [8] i Tehničkog fakulteta u Bitoli [9] potvrđuju značaj uspostavljanja lokalnih indikatora bezbednosti saobraćaja, kao što su stopa alkoholisanih vozača i prekoračenje brzine kretanja, te njihovu integraciju u nadzorne sisteme za brzu proveru vozačkih dozvola i detekciju nekorišćenja sigurnosnih pojaseva [9]. Kvantitativni efekti ove digitalne transformacije na nivou putne mreže sumirani su u Tabeli 2.

Tabela 2: KPI indikatori održavanja pre i posle primene AI/DT sistema

| Indikator performansi              | Tradicionalni sistem | AI/DT sistem      | Poboljšanje        |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| Vreme detekcije oštećenja kolovoza | 6-12 meseci          | 1-7 dana          | -85.00%            |
| Trošak reaktivne sanacije kolovoza | 100.00% (baza)       | 60.00% - 70.00%   | -30.00%            |
| Rizik od saobraćajnih nezgoda      | Visok nivo rizika    | Smanjen nivo      | -20.00% do -40.00% |
| Životni vek kolovozne konstrukcije | 100.00% (baza)       | 115.00% - 130.00% | +15.00% do +30.00% |

## 5 TEHNIČKA OGRANIČENJA I INŽENJERSKA ODGOVORNOST ("ILUZIJA SVEMOĆI")

Iako primena AI donosi nesumnjive koristi, u stručnoj javnosti se povremeno stvara pogrešna percepcija o veštačkoj inteligenciji kao savršenom i svemoćnom rešenju. Ova „iluzija svemoći“ [10] može dovesti do ozbiljnih tehničkih i inženjerskih propusta ako se slepo oslanjamo na algoritamske modele. Tačnost i stabilnost rezultata AI modela u velikoj meri zavise od kvaliteta, konzistentnosti i reprezentativnosti ulaznih podataka. Ukoliko su podaci nepotpuni ili prikupljeni u različitim klimatskim ili saobraćajnim uslovima, modeli dubokog učenja mogu generisati neadekvatne odluke ili pokazati neuspeh u generalizaciji [1, 10].

Ključne granice i izazovi primene obuhvataju [1, 10, 11]:

- **Problem 'crne kutije' (engl. black box):** Složenost dubokih neuronskih mreža otežava razumevanje i matematičko objašnjenje procesa donošenja odluka, što narušava inženjersku transparentnost i otežava preuzimanje pravne odgovornosti [10].
- **Kibernetička bezbednost:** Sve veća povezanost V2X sistema i IoT senzora izlaže pametnu infrastrukturu riziku od digitalnih napada, gde preuzimanje kontrole nad svetlosnim signalima direktno ugrožava bezbednost saobraćaja [1, 11].
- **Visoki digitalni troškovi:** Uvođenje senzorskih mreža, cloud platformi i edge gateway-a zahteva značajna početna i kontinualna finansijska ulaganja, što stvara tehnološku nejednakost između zemalja visokog i niskog dohotka [10, 11].

- **Etička pristrasnost podataka:** Modeli obučavani na podacima iz urbanih sredina teže daju prioritet i adekvatne preporuke za ruralne oblasti, što može dovesti do diskriminatorne raspodele budžeta [10].

Zbog navedenih ograničenja, neophodno je odbaciti težnju ka potpunoj automatizaciji bez kontrole. Zlatni standard savremenog saobraćajnog inženjerstva mora biti princip 'čovek u petlji' (engl. human-in-the-loop), gde AI funkcioniše isključivo kao moćan pomoćni i analitički alat koji pruža dublji uvid u podatke, dok konačnu inženjersku odluku i profesionalnu odgovornost donosi licencirani inženjer na osnovu znanja i iskustva [10].

## 6 ZAKLJUČAK

Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu više nije pitanje daleke budućnosti, već neminovni pravac tehnološke evolucije i redefinisanja urbanog transporta. Kvantitativni empirijski pokazatelji izmereni u praksi potvrđuju da DQN modeli adaptibilne kontrole signala, u kombinaciji sa mrežnom optimizacijom digitalnih blizanaca, ostvaruju izuzetne koristi: smanjuju vreme putovanja za četvrtinu, povećavaju protok za 7% i značajno ublažavaju ekološki otisak kroz redukciju emisija štetnih gasova za 21% [2, 7].

Međutim, uspešan prelazak sa reaktivnih na proaktivne i prediktivne sisteme ne zavisi isključivo od tehnologije, već i od izgradnje stabilnih institucija, jasnih pravnih regulativa, standardizacije protokola i prekogranične interoperabilnosti [11]. Zbog prisutnih tehničkih i finansijskih prepreka, posebno u zemljama u tranziciji, najracionalniji pristup predstavlja fazni model implementacije (ITS → IoT → Edge → RAMS → DT), koji omogućava postepeni, bezbedan i ekonomski opravdan prelazak na koncept pametne infrastrukture [11]. **Sve dok se AI posmatra kao podrška, a čovek zadržava kontrolnu i etičku funkciju, digitalna transformacija će uspešno podsticati razvoj održivih gradova, čuvajući ključnu ulogu - odgovornost inženjera.**

## LITERATURA

- [1] Saxena, Ritwik Raj. (2024). Artificial Intelligence in Traffic Systems. Duluth: Department of Computer Science, University of Minnesota.
- [2] Zhang, Xuanning. (2025). Artificial Intelligence in Intelligent Traffic Signal Control. Shanghai: Shanghai Polytechnic University. DOI: 10.54254/2755-2721/2025.20846.
- [3] Pradhan, Umakanta, Sethi, Santosh Kumar, Pati, Rajalaxmi, Sahu, Ompriya, & Parida, Amitav. (2024). Use of Artificial Intelligence in Road Traffic and Pavement Engineering. Bhubaneswar: Aryan Institute of Engineering and Technology. Industrial Engineering Journal, ISSN: 0970-2555, Vol. 53, Issue 3, No. 5.
- [4] Alam, Quazi Mishkatul, Kolar, Vinay, & Thottan, Marina. (2024). Towards AI/ML-Driven Network Traffic Engineering. Baton Rouge, LA, USA: ACM. DOI: 10.1145/3703412.3703436.
- [5] Alibaba Cloud. (2018). How ET City Brain Is Transforming the Way We Live – One City at a Time. Alibaba Cloud Community.
- [6] TRL Software. (2025). TRL Software Launches SCOOT® 8 AI: World's First AI-Powered Predictive Urban Traffic Control Solution.
- [7] Carnegie Mellon University. (2019). Surtrac Allows Traffic To Move at the Speed of Technology. CMU News.
- [8] Savić, Bojana. (2024). Primena veštačke inteligencije za unapređenje bezbednosti saobraćaja. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [9] Joševski, Zoran, Stefanovski, Pero, & Koneska, Verče. (2024). Mogućnosti primene veštačke

- inteligencije za kreiranje modela za unapređenje bezbednosti saobraćaja. Tehnički fakultet Bitola / Državni univerzitet u Tetovu. Originalni naučni rad. DOI: 10.5937/IAS24003J.
- [10] Pavić, Milica, & Jokanović, Igor. (2026). Primena veštačke inteligencije u putnom sektoru - između inženjerske podrške, tačnosti i iluzije svemoći. Subotica: Građevinski fakultet Subotica. Originalni naučni rad.
- [11] Lindov, Osman, Olovčić, Jasmina, & Džaferović, Samir. (2026). Primjena ITS-a, AI i digitalnih blizanaca u upravljanju i održavanju putne mreže. Sarajevo: Fakultet za saobraćaj i komunikacije.
- [12] Lipovac Tanasković, Marina. (2025). Artificial Intelligence (AI) for Smart City and Urban Systems, Dubai: Oxford Management Centre.
- [13] Lipovac Tanasković, Marina. (2024). Road Asset Management; Upgrade and Maintain the Road Network, London: Oxford Management Centre.

## SUMMARY

### The application of artificial intelligence in traffic engineering: models, integration and limitations

*Abstract: The integration of Artificial Intelligence (AI) in traffic engineering is a major technological paradigm shift that is reshaping how modern cities manage urban mobility, road safety, and infrastructure resilience. This paper provides a concise and critical review of the strategic deployment of AI models across three core areas: traffic planning, roadway design, and operational traffic management, while incorporating key international case studies and advanced digital twin and edge computing frameworks. In the planning and design phases, deep neural networks and city-scale digital twins enable the transition from static planning to data-driven, real-time demand modeling and network optimization, generating Origin-Destination matrices from multi-source datasets. In the operational phase, deep reinforcement learning, particularly Deep Q-Networks (DQN), is applied to adaptive traffic signal control. Through three representative global case studies — SURTRAC (Pittsburgh), Alibaba ET City Brain (Hangzhou), and SCOOT 8 AI / Yunex FUSION (London) — this paper evaluates the quantitative effects of AI implementation, showing a 7% increase in traffic throughput, a 25% reduction in average travel times, a 26.67% decrease in congestion indices, and a 50% reduction in emergency response times. Furthermore, the paper discusses the use of computer vision and edge analytics for real-time pavement distress detection, which cuts detection times by 85%. Finally, the paper addresses key technical and organizational barriers to AI implementation, including data quality, the opaque 'black box' nature of deep learning, high digital infrastructure costs, and cybersecurity. It emphasizes the importance of preserving the 'human-in-the-loop' principle, ensuring that AI remains an engineering support tool while final professional judgment and liability reside with licensed human engineers.*

*Key words: artificial intelligence, digital twins, DQN model, smart cities, traffic safety.*