

## ANALIZA PRIMENE OPTIČKIH SENZORA U INTELIGENTNIM TRANSPORTNIM SISTEMIMA GRADSKIH SREDINA

Marijo Vidas, Vladan Tubić, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
m.vidas@sf.bg.ac.rs, vladan@sf.bg.ac.rs, a.kostic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Osnovu Inteligentnih transportnih sistema predstavlja mogućnost praćenja uslova u saobraćajnom toku u realnom vremenu na mreži puteva i/ili gradskih saobraćajnica. Pošto je upotreba senzora sa induktivnom petljom, koji su najviše primenjivani u našoj zemlji, pokazala značajna ograničenja u primeni u sistemima upravljanja saobraćajem u realnom vremenu, javila se potreba za primenom nekih pogodnijih tehnologija za prikupljanje i distribuiranje podataka u realnom vremenu. Korak ka tome predstavlja implementacija sistema baziranog na primeni optičkih senzora. U radu će biti prikazane glavne karakteristike optičkih senzora kao esencijalnog segmenta komunikacionog dela Inteligentnih transportnih sistema. Takođe, biće prikazani i obrađeni dobijeni podaci sa već implementiranih senzora na saobraćajnoj deonici sa najvećim saobraćajnim zahtevima u Republici Srbiji, a pomoću njih i pokazane glavne prednosti i neki nedostaci upotrebe ove napredne tehnologije.*

**Ključne reči:** *optički senzori, inteligentni transportni sistemi, upravljanje saobraćajem*

### 1. Uvod

Gradovi predstavljaju centre visokih nivoa akumulacije i koncentracije ekonomskih aktivnosti. Sa veličinom grada raste i kompleksnost saobraćajne mreže kao i potencijal za saobraćajne probleme s obzirom na činjenicu da broj stanovnika i saobraćajni zahtevi konstantno rastu.

U poslednje dve godine zbog posledica pandemije Covid 19 pred transportne sisteme se postavljaju novi izazovi. U prvom trenutku kao posledica vanrednog stanja došlo je do pada saobraćajnih zahteva, gradovi u kojima su u vršnim periodima vladali uslovi zasićenog i forsiranog saobraćajnog toka funkcionisali su u uslovima normalnog saobraćajnog toka. To je na neki način saobraćajnim inženjerima dalo realnu sliku saobraćajnog sistema kome se teži. Sa popuštanjem restriktivnih mera uslovi su se vratili u prvobitno stanje. Kao direktnu posledicu te dve različite saobraćajne slike može se izvući zaključak o neophodnosti savremenog upravljačkog sistema – Inteligentnih transportnih sistema, koji će imati zadatak maksimalnog iskorišćenja propusnih sposobnosti postojeće saobraćajne mreže na zadovoljavajućem nivou usluge. Saobraćajna ponuda i saobraćajni zahtevi imaju recipročnu ali asimetričnu zavisnost.

Opisluženi saobraćajni zahtevi nisu mogući bez odgovarajuće saobraćajne ponude (propusna sposobnost), dok se sa druge strane ponuda definiše prema planiranim zahtevima [1].

Osnovu Inteligentnih transportnih sistema predstavlja mogućnost praćenja uslova u saobraćajnom toku u realnom vremenu na mreži puteva i/ili gradskih saobraćajnica. Prvi korak za uspešnu implementaciju ovog sistema jeste postavljanje pametnih senzora. Njihovom primenom moguće je u realnom vremenu pratiti saobraćajne tokove, glavne strateške saobraćajnice kao i urbane putne mreže širom grada, što omogućava praćenje podataka u realnom vremenu sa statusom saobraćaja sa svih takvih lokacija. Trenutno najviše korišćeni tip senzora na mreži puteva i ulica u Republici Srbiji su induktivne petlje, koji su kroz dugogodišnju upotrebu dokazali svoju efikasnost. Njihova osnovna uloga je brojanje i klasifikacija vozila, ali mogu biti korišćeni i za merenje brzine, kontrolu pristupa, procenu gustine saobraćaja, itd [2]. Radi dobijanja tih dodatnih podataka postoji potreba postavljanja dve individualne petlje na bliskom rastojanju. Glavni nedostatak ovog tipa senzora je njihovo postavljanje – ugrađivanje u kolovoz, a u slučaju kvara petlja se ostavlja u kolovozu i postavlja nova u neposrednom okruženju.

Savremene tehnologije donose niz prednosti, što kroz lakše postavljanje opreme – senzora, što kroz veće mogućnosti za očitavanje podataka koji su neophodni u opisivanju uslova u saobraćajnom toku. Primena savremenih – pametnih senzora obezbeđuje status saobraćaja, prosečnu brzinu, gap (ili rastojanje sleđenja), klasifikaciju vozila, brojanje vozila, zauzeća određenih lokacija-saobraćajnih traka, kao i detekciju saobraćajnih nezgoda ako se koristi u kombinaciji sa radarom. Dobijeni podaci nemaju primenu samo u pružanju informacija u realnom vremenu, već se mogu koristiti u planiranju saobraćajnog sistema na osnovu zabeleženih uslova u saobraćajnom toku, a isto tako kao i polaznu osnovu za različite prognoze budućeg stanja na mreži puteva i saobraćajnica. Podaci se prikupljaju i skladište kako bi bili dostupni za poređenje sa trenutnim, u cilju bolje prognoze saobraćajnih zahteva, a radi boljeg upravljanja putevima i gradskim saobraćajnicama. U radu će biti analiziran primenjen sistem senzora na mostu Gazela, njegove karakteristike, tehničke mogućnosti, kao i dobijeni rezultati.

Moderni senzori nisu zavisni od slike, ne zahtevaju aktivna čišćenja i rade sa minimalnim dostupnim propusnim opsegom. Ako su instalirani na udaljenim lokacijama, veza sa centrom moguća je i sa 2/3/4G mrežom.

Analiza i obrada podataka koji su skladišteni na centralnoj lokaciji dostupni su pomoću softvera prilagodljivim klijentu sa izveštavanjem u tabelarnom i grafičkom obliku. Generisanje izveštaja može se izvršiti odabirom različitih parametara kroz jednostavan i intuitivan grafički interfejs koji omogućava maksimalnu fleksibilnost, ili izborom standardnih izveštaja sa prethodno postavljenim promenljivama [3].

Neke od karakteristike izveštavanja [3]:

- status saobraćaja (normalan, srednje zagušen, zagušen itd.),
- prosečan dnevni/nedeljni/mesečni/kvartalni saobraćajni izveštaj,
- prosečni satni izveštaji,
- grafički prikazi vršnih saobraćajnih zagušenja,
- prosečna brzina za svaku klasu vozila pojedinačno,
- prosečna brzina za svaku saobraćajnu traku pojedinačno, itd.

U daljem tekstu će biti dat prikaz senzora koji je postavljen na mostu „Gazela” u Beogradu, sa osnovnim karakteristikama, dobijenim podacima i upotrebnom vrednošću istih.

## 2. EnLSR senzor

EnLSR predstavlja ključni element unapređenog sistema za brojanje vozila na gradskim putevima i autoputevima u cilju upravljanja saobraćajem pametnih gradova. Ovi senzori obezbeđuju preciznu detekciju, brojanje i klasifikaciju vozila, nudeći izvanredne performanse i analizu podataka za bolje upravljanje saobraćajem. EnLSR senzor baziran je na laserskom skeniranju i radarskoj tehnologiji (opcionarno) i savršeno je prilagođen saobraćajnim uslovima, koji su mnogo većeg obima nego u R. Srbiji [3].

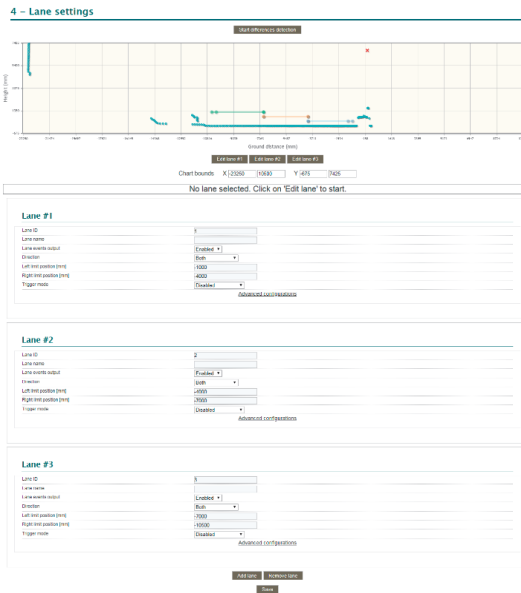
Karakteristike senzora [3]:

- velika tačnost pri brojanju vozila u više traka istovremeno,
- tehnologija optičkog skeniranja,
- savremeno tehničko rešenje koje integriše primenu veštačke inteligencije u softverskom segmentu,
- mogućnost klasifikacije vozila po različitim osnovama (u 5 do 12 klasa),
- robusan dizajn prilagođen za sve vremenske uslove,
- otvorena arhitektura za integraciju sa ostalim sistemima,
- laka implementacija sa drugim sistemima,
- IP65 nivo zaštite od prodiranja prašine i vode,
- TCP/IP podržana tehnologija,
- jako mala potrošnja energije.

EnLSR je detektor vozila zasnovan na tehnologijama optičkih senzora i to laserskog skenera i, opciono, radarskog doplera. Laserski skener meri profil vozila i na taj način omogućava preciznu klasifikaciju vozila. Senzor može razlikovati više od 20 klasa vozila, uključujući motocikle, automobile, kombije, kamione, zglobne autobuse, autobuse i druge. Senzor sa softverskim *firmware*-om je predviđen za rad na otvorenom, čak i u nepovoljnim vremenskim uslovima implementira filtere za kišu, maglu i sneg.

Sam optički skener se sastoji od dva fizički odvojena područja namenjena za prenos i predaju optičkih signala uz pomoć laserskog senzora, što ga čini posebno otpornim na nečistoće koje se nalaze u atmosferskom kanalu (prašina, voda i čestice zagađenog vazduha različitih dimenzija). Senzor je opremljen procesorom koji obrađuje optičke signale primljene od laserskog skenera kako bi dobio sve podatke koji se odnose na prolazno vozilo. Komunikacija sa senzorom odvija se putem *Ethernet*-a, a prikazivanje podataka i samo konfigurisanje se može obaviti putem različitih Web pretraživača [3]. Prilikom montaže senzora i aktivacije, sistem omogućava korisniku da na podlozi vidi početnu, srednju kao i krajnju tačku koju sensor može da posmatra. Početna tačka koja se nalazi ispod senzora je bitna jer se ona koristi za određivanja početne tačke prve saobraćajne linije.

Nakon čuvanja pozicije senzora pristupa se definisanju saobraćajnih traka. Prilikom definicije saobraćajne trake korisnik za svaku mora da postavi *Left limit position* (krajnju levu stranu), *Rigth limit position* (krajnju desnu stranu) senzora u mm u odnosu na početnu tačku. Ove vrednosti mogu biti i minusu kao što su prikazane na slici 1. u zavisnosti od montaže senzora.



Slika 1. Definisane saobraćajnih traka [3]

Za svaku traku može da se definiše pravac kretanja vozila, *trigger*, dozvoljena visina tj. *trigger* u slučaju da neko vozilo prođe preko dozvoljene visine. Prilikom odabira treba postaviti koliko minimalno mora da bude “očitanih frejmova” da bi se smatralo triggerom, kao i *output* ako se želi koristiti fizički trigger [3].

Nakon definisanja saobraćajnih traka korisnik treba da pristupi konfiguraciji komunikacije između senzora i servera. Odabirom *Push Protokola* senzor se postavlja u *Ethernet Client mode*, gde se upisuje IP adresa servera i odgovarajući port na koji senzor treba da šalje podatke. Odabirom *Events* definiše se koju strukturu podataka senzor treba da šalje serveru, kao što je prikazano na slici 2.

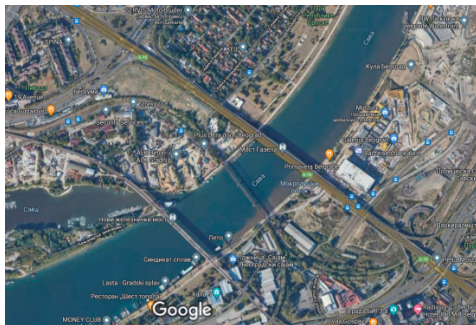
Sistem ima 4 nivoa izveštaja [3]:

1. *Custom Report*:
  - a. tip senzora ( Laser )
  - b. naziv senzora ( Most Gazela 1 – Most Gazela 2 )
  - c. vreme od ( From ) vreme do ( to )
2. *Daily Report* – gde korisnik ima mogućnost da odabere tip senzora kao i da selektuje senzor za kojeg žele da se učitaju podaci, kao i dan za koji se traže podaci (slika 3).
3. *Weekly Report* – gde korisnik ima mogućnost da odabere tip senzora kao i da selektuje senzor za kojeg žele da se učitaju podaci, kao i NEDELJU za koji se traže podaci.
4. *Mixed Report* – gde korisnik ima mogućnost da odabere tip senzora kao i da selektuje senzore sa kojih žele da se učitaju podaci, kao i vremenski interval za grupisanje podataka, kao i vreme "od – do" za koji period se traže podaci.



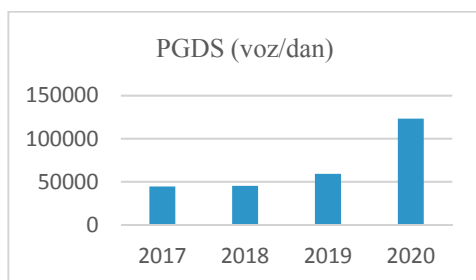
### 3. Lokacija senzora

Grad Beograd sa svojim položajem na ušću dve reke za normalno saobraćajno funkcionisanje zavisi od mostova. Veliki procenat poslovnih putovanja je svakodnevno vezan za tri mosta koji spajaju levu i desnu obalu reke Save. Izabrana deonica je deo gradskog autoputa koja ima tri saobraćajne trake po smeru na kojem se pored velikog procenta lokalnih kretanja pojavljuju i tranzitna kretanja putničkih vozila i autobusa, najveći procenat teretnih vozila je izmešten na obilaznicu. Na saobraćajnoj deonici kao i na celom gradskom autoputu postavljeno je ograničenje brzine od 80 km/h. Položaj i izgled saobraćajne deonice je prikazan na slici 4.



Slika 4. Most „Gazela” sa pristupnim saobraćajnicama

Na Slici 5. je prikazana promena saobraćajnih zahteva na posmatranoj saobraćajnoj deonici (Prosečan Godišnji Dnevni Saobraćaj – PGDS) u četvorogodišnjem periodu.



Slika 5. Dostignuti saobraćajni zahtevi na mostu „Gazela” [4]

Sa slike 5. uočava se značajno povećanje saobraćajnih zahteva u poslednjoj 2020. godini, što predstavlja jasan signal o neophodnosti uvođenja upravljačkih mera (ITS) kojima bi se bolje uticalo na preraspodelu saobraćajnih zahteva između deonica gradskog autoputa i obilaznice oko Beograda. Izgradnjom obilaznice oko Beograda uvedena je zabrana kretanja za autovozove i teška teretna vozila na deonicama autoputa koji prolazi kroz Beograd. Postavlja se pitanje u kojoj meri preusmeravanjem dela tranzitnih kretanja putničkih automobila i autobusa na obilaznicu možemo uticati na uslove u saobraćajnom toku na jednoj od najvažnijih veza između dva dela Beograda – most „Gazela”. Tehničko-eksploatacione karakteristike (TEK) deonice prikazane su u Tabeli 1.

Tabela 1. Tehničko-eksploatacione karakteristike

Tehničko-eksploatacione karakteristike	
Broj traka	3+3
Dužina deonice	546 m
Širina saobraćajne trake	3.5 m
Udaljenost bočnih smetnji	0.5 m
Rmin	1500 m
UN	0.9 %

Iz Tabele 1. se može primetiti da su TEK približne idealnim uslovima, odnosno na uslove u saobraćajnom toku utiče veličina saobraćajnih zahteva koji se ispostavljaju tom elementu ulične mreže.

Veličina saobraćajnih zahteva i TEK pokazuju da bi za posmatranu saobraćajnu deonicu bilo potrebno ispitati međuzavisnost dva osnovna parametra teorije saobraćajnog toka – brzina i protok. Na osnovu poznavanja te međuzavisnosti moguće je sagledati kako se i pri kojim veličinama menjaju saobraćajni uslovi iz slobodnog i normalnog u zasićeni i forsirani saobraćajni tok. Postavljanjem pametnog senzora na deonici stekli su se uslovi za gore pomenutu analizu, koja će biti prikazana u sledećem poglavlju ovog rada.

#### 4. Analiza podataka dobijenih sa senzora

U prvom koraku podaci sa senzora se prebacivanjem u EXCEL pripremaju za dalju obradu, kao što je prikazano na slici 6, gde su prikazani podaci za smer Bubanj Potok - Beograd. Sa slike se može primeti koji su podaci dostupni: vozna traka, datum i vreme, visina vozila, rastojanje između vozila, interval sledenja i zauzetost trake.

Lane ID	Date	Vehicle Class	Height	Gap	Speed	Headway	Occupancy
2	27 2/19/2020 1:00	Car	1330 m	9932	88 km/h	10098	148
3	27 2/19/2020 1:00	Car	1420 m	1251	79 km/h	1400	215
4	27 2/19/2020 1:00	Car	1340 m	18501	85 km/h	18717	165
5	27 2/19/2020 1:00	Car	1530 m	2924	87 km/h	3090	165
6	27 2/19/2020 1:00	Car	1520 m	2113	87 km/h	2279	165
7	27 2/19/2020 1:00	Car	1520 m	1634	81 km/h	1800	198
8	26 2/19/2020 1:00	Motorcycle	1410 m	145926	102 km/h	146108	148
9	27 2/19/2020 1:00	Car	1440 m	7580	78 km/h	7779	232
10	27 2/19/2020 1:00	Car	1380 m	4626	79 km/h	4859	215
11	26 2/19/2020 1:00	Car	1450 m	15659	134 km/h	15808	81
12	28 2/19/2020 1:00	Car	1550 m	105152	92 km/h	105915	182
13	28 2/19/2020 1:00	Car	1380 m	3036	80 km/h	3219	249
14	27 2/19/2020 1:01	Car	1420 m	20411	82 km/h	20627	182
15	27 2/19/2020 1:01	Car	1370 m	1687	83 km/h	1870	182
16	26 2/19/2020 1:01	Car	1350 m	14386	120 km/h	14468	181
17	26 2/19/2020 1:01	Car	1340 m	1837	130 km/h	2019	131
18	27 2/19/2020 1:01	Car	1380 m	4536	78 km/h	4719	215
19	28 2/19/2020 1:01	Van	2770 m	16098	79 km/h	16348	384
20	27 2/19/2020 1:01	Car	1330 m	7463	82 km/h	7679	182

Slika 6. Podaci sa senzora za most „Gazela”

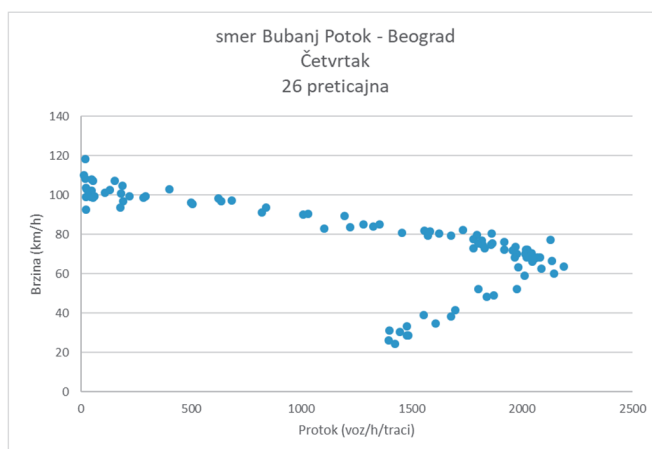
Kod sprovođenja istraživanja u saobraćajnom toku biraju se radni dani na koje nemaju uticaja vikend kretanja – utorak, sreda ili četvrtak, u cilju dobijanja realne slike promene saobraćajnih zahteva i uslova u saobraćajnom toku u vršnim periodima.

U tabeli 2. prikazane su časovne vrednosti protoka i srednje vrednosti brzine za krajnu desnu (zaustavnu) traku, za četiri dana istraživanja (četvrtak), u cilju utvrđivanja međuzavisnosti između ova dva parametara.

Tabela 2. Dnevni časovni protoci i srednja brzina u krajnjoj desnoj traci- četvrtak

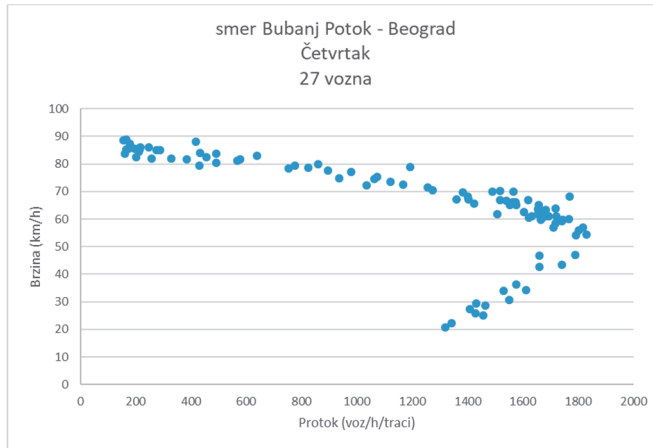
datum	21.05.2020.		22.10.2020.		21.01.2021.		18.02.2021.	
	čas	protok (voz/h/traci)	brzina (km/h)	protok (voz/h/traci)	brzina (km/h)	protok (voz/h/traci)	brzina (km/h)	protok (voz/h/traci)
1	59	77	335	75	236	76	70	73
2	39	73	123	77	100	77	28	81
3	14	68	35	76	45	80	21	66
4	19	70	30	77	26	80	29	80
5	40	72	27	80	23	76	36	69
6	139	70	58	77	41	83	125	73
7	730	66	164	76	154	83	631	67
8	1486	58	794	71	793	74	1355	60
9	1420	59	1702	56	1414	67	1257	61
10	1131	65	1530	56	1100	68	952	66
11	1075	66	1220	65	971	70	992	66
12	1286	64	1150	65	1020	66	1055	64
13	1310	61	1194	64	1083	67	1178	63
14	1359	61	1428	59	1094	65	1251	61
15	1578	46	1646	57	1258	64	1399	59
16	1658	34	1686	49	1370	61	1746	43
17	1426	25	1494	35	1594	43	1373	26
18	1506	29	1319	21	1450	30	1515	28
19	1022	62	1431	23	1574	33	1032	61
20	790	66	1673	39	933	67	834	65
21	677	69	1091	63	865	68	754	65
22	414	73	820	67	741	69	393	73
23	234	75	539	73	546	70	260	73
24	137	78	348	75	387	74	180	74

Na osnovu tabele 2 i tabela za ostale dve saobraćajne trake u smeru Bujanj Potok – Beograd moguće je utvrditi međuzavisnost između brzine i protoka (Slike 7, 8 i 9).

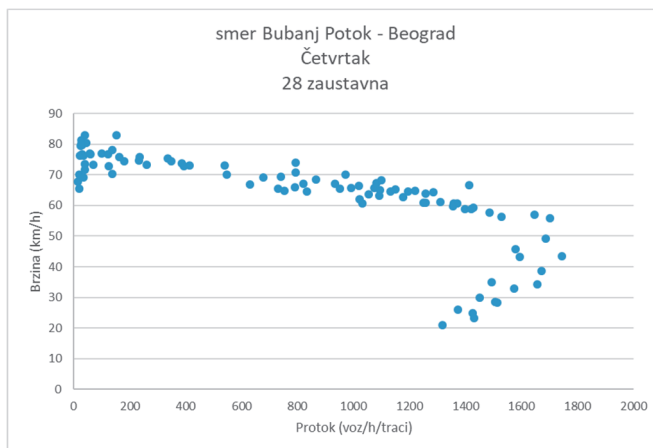


Slika 7. Međuzavisnost  $V - q$  za krajnju levu traku (26 preticajna traka) autoputa





Slika 8. Međuzavisnost  $V - q$  za srednju traku (27 vozna traka) autoputa



Slika 9. Međuzavisnost  $V - q$  za kranju desnu traku (28 zaustavna traka) autoputa

Sa prethodnih slika može se primetiti da dobijena međuzavisnost između brzine i protoka po svom obliku odgovara teorijskoj zavisnosti ova dva parametra, i da saobraćajni tok na posmatranoj deonici prolazi kroz sva četiri osnovna stanja: slobodan, normalan, zasićen i forsirani saobraćajni tok. Prebacivanje iz uslova zasićenog i forsiranog saobraćajnog toka u uslove normalnog je jedan od zadataka uvođenja ITS -a, odnosno bolje iskorišćenje maksimalne propusne moći svake saobraćajne trake. Maksimalna propusna moć varira u zavisnosti od saobraćajne trake: krajnja desna traka – 1746 voz/h/traci pri brzini od 43 km/h (tabela 2, slika 9); srednja traka – 1802 voz/h/traci pri brzini 56 km/h (slika 8) i krajnja leva traka – 2191 voz/h/traci pri brzini 64 km/h (slika 7). Ove vrednosti ukazuju na potrebu daljih istraživanja jer pokazuju da sa porastom saobraćajnih zahteva saobraćajne trake imaju različite pragove prelaska iz zasićenog saobraćajnog toka u forsiran saobraćajni tok, pa samim tim i različitu osetljivost na promene saobraćajnih parametara.

## 6. Zaključak

Osnovu boljeg iskorišćenja ograničenog kapaciteta saobraćajnica u gradskim uslovima čini primena savremenih upravljačkih tehnika – ITS. Za njegovu uspešnu implementaciju potrebni su senzori koji mogu obezbediti kvalitetne podatke kojima bi se opisali i definisali uslovi u saobraćajnom toku. U radu je dat prikaz primene jednog takvog senzora na saobraćajnici od najvećeg značaja u uličnoj mreži grada Beograda. Podaci koji se dobijaju omogućavaju detaljno sagledavanje i definisanje graničnih vrednosti protoka i brzine, za konkretnu lokaciju, pri kojima dolazi do promene uslova u saobraćajnom toku. To predstavlja ključan ulazni podatak za definisanje strategije upravljanja saobraćajnim zahtevima. Razlika u maksimalnom protoku po saobraćajnim trakama predstavlja rezultat koji je potrebno dalje istražiti kroz proširenje veličine uzorka (broj dana) a u cilju ispitivanja da li različite upravljačke mere po trakama u vršnim časovima mogu uticati na smanjivanje vremena u kojem postoje nepovoljni saobraćajni uslovi (forsiran saobraćajni tok).

## Literatura

- [1] Ripoll, N.G.; Aguilera, L.E.G.; Belenguer, F.M.; Salcedo, A.M.; Ballester Merelo, F.J. Design, Implementation, and Configuration of Laser Systems for Vehicle Detection and Classification in Real Time. *Sensors* 2021, 21, 2082.
- [2] Belenguer, F.M.; Salcedo, A.; Ibañez, A.; Milián, V. Advantages offered by the double magnetic loops versus the conventional single ones. *PLoS ONE* 2019, 14, e0211626.
- [3] Unapređenje sistema video nadzora za potrebe ITS-a, Uputstvo za upotrebu komponenti sistema i projekat izvedenog stanja, AABMATICA, TEAMWORKS DOO, 2020.
- [4] [www.putevisrbije.com](http://www.putevisrbije.com)

**Abstract:** *The basis of Intelligent Transport Systems is the ability of monitoring traffic conditions in real time on the road network and/or city roads. Since the use of inductive loop sensors, which are the most widely used in our country, has shown significant limitations in the application of real-time traffic management systems, there is a need to apply some more convenient technologies for collecting and distributing real-time data. A step towards this is the implementation of a system based on the application of optical sensors. This paper presents the main characteristics of optical sensors as an essential segment of the communication part of Intelligent Transport Systems. Also, the obtained data from already implemented sensors on the traffic section with the highest traffic requirements in the Republic of Serbia will be presented and processed, and with their help the main advantages and some disadvantages of using this advanced technology will be shown.*

**Keywords:** *optical sensor, intelligent transport system, traffic management*

## ANALYSIS OF OPTICAL SENSORS APPLICATION IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS OF URBAN ENVIRONMENT

Marijo Vidas, Vladan Tubić, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević