

BUDUĆNOST SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE U ERI PAMETNIH PUTEVA I AUTONOMNIH VOZILA

Ana Trpković, Branimir Stanić, Sreten Jevremović
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,
a.trpkovic@sf.bg.ac.rs, b.stanic@sf.bg.ac.rs, s.jevremovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Razvoj i unapređenje saobraćajne signalizacije prate i u određenom smislu uzrokuju različiti tehnološki trendovi, inovacije i postojeća dostignuća. Jedna od značajnih prekretnica u pogledu postavljanja i korišćenja saobraćajne signalizacije, jeste razvoj autonomnih vozila. Sa učestalijom upotrebom ovih prevoznih sredstava pokrenuta su različita pitanja, među kojima se posebno diskutuje o mestu i značaju saobraćajne signalizacije. Da li postojeći znakovi i oznake mogu odgovoriti zahtevima autonomnih vozila? Da li će signalizacija zadržati svoj vizuelni identitet? Kakva će biti njena efikasnost, način prenošenja informacija i sl.? Na sva ova pitanja još uvek ne postoje jasni odgovori, već samo vizionarske ideje, preporuke, pretpostavke i različita očekivanja. U tom kontekstu napisan je i ovaj rad, koji ima za cilj da ispita mogućnosti postojeće saobraćajne signalizacije da odgovori na zahteve autonomnih vozila, ali i da ukaže na potencijalni razvoj i transformaciju znakova i oznaka u budućnosti.*

Ključne reči: *saobraćajna signalizacija, autonomna vozila, pametni putevi, nove tehnologije, IoT.*

1. Uvod

Saobraćajni sistem predstavlja važan činilac u razvoju savremenog grada, posebno imajući u vidu njegovu pokretačku snagu kako ekonomskog, društvenog, tehnološkog, političkog, tako i kulturnog napretka. Osnovne komponente saobraćajnog sistema podudaraju se sa elementima bilo kog drugog sistema unutar grada, odnosno države. Ti elementi mogu se podeliti u četiri grupe: čovek, vozilo, put i okruženje. Idealan razvoj saobraćaja podrazumevao bi podjednako razvijanje i napredovanje svake od navedene četiri komponente. U praksi to često nije slučaj, pa se događa da npr. usavršavanje vozila ne prati razvoj infrastrukture ili pratećih elemenata okruženja.

Trenutno, dosta pažnje usmereno je na pitanje razvoja i upotrebe autonomnih vozila (AV). Ova prevozna sredstva predstavljaju inovativnu tehnologiju koja poseduje potencijal da drastično izmeni prostorno-urbani pejzaž postojećih gradova [1]. Inovativnost ove tehnologije ogleda se u njenom stepenu automatizacije. Opšteprihvaćena hijerarhija nivoa automatizacije predložena je od strane Udruženja

automobilskih inženjera, pri čemu je definisano 6 nivoa (Slika 1). Bez detaljnijeg zalaženja u specifičnosti svakog od nivoa, sa slike se jasno može videti da se teži ka potpunom isključivanju vozača iz procesa upravljanja vozilom. To zapravo znači da će uloga vozača biti istovetna ulozi bilo kog drugog putnika u vozilu. Ovakav ishod sa sobom povlači pitanje infrastrukture i možda još i važnije, ulogu saobraćajne signalizacije. Upravo, jedna od glavnih nedoumica koja se ovde nameće jeste: na koji način će zahtevi autonomnih vozila izmeniti dosadašnju funkciju, izgled i upotrebu ostalih komponenti saobraćajnog sistema, a pre svega puta i okruženja.



Slika 1. Nivoi automatizacije tipova autonomnih vozila

Trenutno, zbog ograničenja i visokih troškova dostupnih senzora, većina komercijalnih vozila uključuje samo nivo 1, odnosno nivo 2 automatizacije, što zapravo znači da je potrebna stalna pažnja i kontrola od strane vozača [2]. Naredni nivoi automatizacije zahtevali bi intenzivniju komunikaciju vozila sa putem i okruženjem, odnosno dodatno umrežavanje svih komponenti saobraćajnog sistema i stvaranje globalnog IoT sistema. Važan aspekt koji ovde treba naglasiti, a koji se (ne)namerno zaboravlja, jeste uloga saobraćajne signalizacije u gradovima budućnosti. Generalno, saobraćajna signalizacija se, prema važećem nacionalnom Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji, može podeliti na: saobraćajne znakove, oznake na putu, semafore, branike i polubranike, privremenu saobraćajnu signalizaciju, svetlosne i druge oznake na putu [3]. U kontekstu ovog rada, nešto više reči biće o saobraćajnim znakovima, odnosno vertikalnoj signalizaciji, koja se može definisati kao: *skup posebno kodiranih oznaka namenjenih učesnicima u saobraćaju, koje se, u odnosu na saobraćajne površine, lociraju u vertikalnoj ravni* [4] i oznakama na putu, odnosno horizontalnoj signalizaciji koja se može definisati kao: *skup posebno oblikovanih geometrijskih elemenata (linija, figura, polja) i natpisa, čijim se kombinovanjem (prilikom projektovanja) i ugradnjom (na kolovozu) formiraju oznake* [5]. Imajući u vidu da je saobraćajna signalizacija, sa svojim trenutnim oblikom, izgledom i karakteristikama, i dalje dominantan izvor informisanja i vođenja svih vozila, postavlja se pitanje kako će nove generacije vozila, sa ciljanim nivoima automatizacije, razmenjivati potrebne informacije.

Osnovna ideja i cilj ovog rada jeste zapravo pokušaj da se daju odgovori na prethodno postavljena pitanja i da se utvrdi uloga i potencijalne karakteristike saobraćajne signalizacije u budućnosti, zahtevane (uslovljene) brzim tehnološkim napretkom i razvojem autonomnih vozila.

2. Pregled literature

Aktuelne strategije za integraciju autonomnih vozila predviđaju tri pristupa koji se odnose na infrastrukturu [6]:

- **konzervativni pristup** koji ne uključuje nikakve infrastrukturne promene ili promene saobraćajne signalizacije, već podrazumeva nehomogeni „mešoviti“ sistem funkcionisanja saobraćaja kakav je trenutno zastupljen u gradovima.
- **umereni pristup** podrazumeva robusniju strategiju za integraciju autonomnih vozila. Naime, iako će „mešoviti“ saobraćaj biti zastupljen na sekundarnoj mreži saobraćajnica, ova strategija podrazumeva izgradnju namenske infrastrukture, poput autonomnih koridora, omogućavajući potpunu segregaciju od konvencionalnog saobraćaja.
- **agresivni pristup** podrazumeva stvaranje čitavih oblasti, poput centralnih ili posebnih gradskih zona, gde bi se u potpunosti ograničio pristup svim vozilima koja nisu autonomna. Izolacijom sistema, omogućava se potpuna koordinacija autonomnih vozila, pri čemu bi se potrebne informacije, umesto tradicionalnom saobraćajnom signalizacijom, dobijale iz centralnog sistema ili putem Wi-Fi saobraćajne signalizacije.

Shodno navedenim strategijama, celokupna infrastruktura grupisana je u fizičku i bežičnu [7]. Sa sadašnje tačke gledišta, specifičnosti kojima se saobraćajna signalizacija odlikuje, trenutno je svrstavaju u fizičku infrastrukturu, dok bi se njenim daljim razvojem i prilagođavanjem potrebama autonomnih vozila, ona ubrzo mogla svrstati i u bežičnu.

Upravo, glavni problemi sa kojima se susreću autonomna vozila jeste čitanje saobraćajne signalizacije, odnosno pouzdanost algoritama za njeno prepoznavanje i klasifikaciju. Različiti autori bavili su se pomenutim problemima, pri čemu su konstatovani nedostaci koji se najčešće odnose na loše vremenske uslove: uslove kiše, snega, magle i sl. [8]. Karakteristike kvaliteta saobraćajne signalizacije, ali i okruženja poput: slabe osvetljenosti, visoke sjajnosti – blještavosti znakova i oznaka, oštećenosti, vandalizovanosti, delimične zaklonjenosti, uslovi noćne vožnje itd. značajno utiču na efikasnost algoritama [10]. Takođe, posebno se izdvaja i problem percepcije signalizacije u složenim gradskim uslovima – situacije kada postoji veliki broj različitih sadržaja, gde algoritam iz mnoštva boja, slova, oblika, treba prepoznati saobraćajni znak ili oznaku [2].

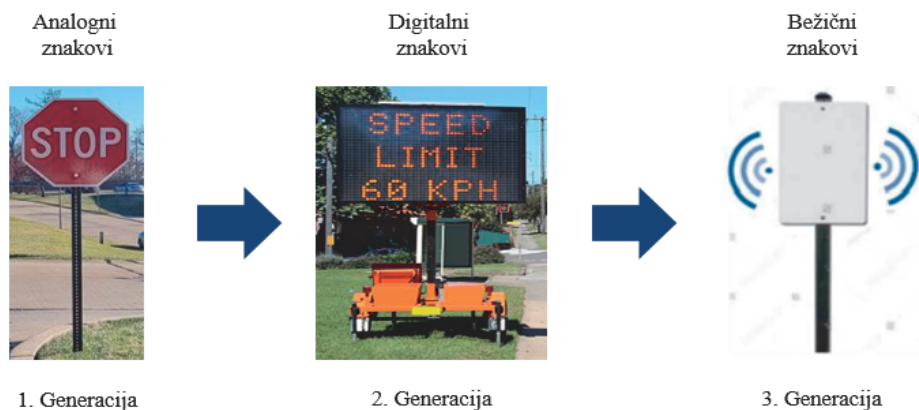
3. Vertikalna signalizacija

Razlika između čoveka i mašine – algoritma u procesu upravljanja vozilom jeste u rasuđivanju i distinkciji različitih uticaja. Trenutno odlučivanje i prilagođavanje čoveka na novonastale promene jedna je od primarnih prednosti i još uvek nepremostiva prepreka na putu ka potpunoj automatizaciji. Uprkos veoma brzom tehnološkom napretku, određeni problemi koji su je javili na početku izrade prvih algoritama još uvek postoje. Na primer, uticaj nepovoljnih vremenskih prilika (snega, kiše, magle i sl.), zaprljanost, zaklonjenost, izbledeost, vandalizovanost ili oštećenost znakova česti su nedostaci postojećih algoritama za detekciju i prepoznavanje elemenata okruženja.

Ono što vertikalnu signalizaciju čini specifičnijom od horizontalne, jeste složenost postupka prenošenja informacija, tj. postojanje više različitih opcija (mogućnosti) za pružanje osnovnih informacija. Na primer, za razliku od horizontalne signalizacije koja se najčešće izrađuje u dve boje (bela i žuta), u slučaju vertikalne signalizacije može se koristiti paleta posebno definisanih boja. Oblik i dimenzije znakova takođe mogu biti drugačije, pojava natpisa i piktograma uključuje novu promenljivu – pismo, koje se opet može razlikovati od zemlje do zemlje. Na području Evrope,

usvajanjem Konvencije o drumskom saobraćaju u Beču 1968. godine, postignut je dogovor o jednoobraznosti izgleda i primene saobraćajne signalizacije, što znatno olakšava proces detektovanja i čitanja znakova i oznaka. Ipak, ono što pojedini autori ambiciozno predlažu, jeste unifikacija i standardizacija saobraćajne signalizacije na globalnom nivou, čime bi se dodatno olakšao rad i povećala efikasnost primenjenih algoritama [11].

U skladu sa trenutnim razvojem, vertikalnu signalizaciju moguće je posmatrati kroz tri faze – generacije (Slika 2).



Slika 2. Faze razvoja vertikalne signalizacije [12]

Prva faza predstavlja postojeće (trenutno) stanje u kome saobraćajna signalizacija ima fizičku (analognu) strukturu (generacija 1). Druga faza (znakovi generacije 2) je zapravo prelazna i predstavlja vezu između postojećeg sistema i sistema sa potpunom automatizacijom. Osnovna karakteristika ove faze jeste mešoviti saobraćajni tok, odnosno paralelno funkcionisanje i autonomnih i klasičnih vozila. U tom smislu različiti autori predlažu unapređenje postojećeg stanja i kvaliteta znakova i njihovo održavanje na visokom nivou [13]. Kada su u pitanju već pomenuti problemi osvetljenja, zaklonjenosti, zaprljanosti znaka, predlaže se korišćenje podataka sa više senzora poput kamera i Lidar-a, čime se, uz redovno održavanje signalizacije, doprinosi povećanju efikasnosti rada postojećih algoritama [2]. To dalje omogućava i određene izmene oblika i elemenata signalizacije, pa npr. znakovi mogu postati manji, ne bi sadržali odredišta i imali bi samo brojeve za identifikaciju traka ili puteva, strelice i brojevi bi postali istaknutiji i većih dimenzija i sl. [6]. Shodno navedenom, ova faza podrazumeva pojednostavljenje putne/ulične scene, odnosno redukovanje saobraćajne signalizacije i njen prelazak na digitalnu infrastrukturu. U tom smislu, određeni proizvođači već duži niz godina koriste neka veoma jednostavna (digitalna) rešenja (Slika 3), koja trenutno imaju ulogu pomoćnih sistema u vozilima, a mogla bi se smatrati pretečom buduće tehnologije.

Treća faza (znakovi generacije 3) obuhvata potpunu automatizaciju i homogeni saobraćajni tok sastavljen isključivo od autonomnih vozila. U potpuno autonomnom svetu, spekuliraju se da neće biti potrebe za fizičkom (analognom) signalizacijom. Umesto toga, uspostaviće se bežična komunikacija između sve četiri komponente saobraćajnog sistema.



Slika 3. Digitalna saobraćajna signalizacija u vozilu

Umesto vizuelne detekcije i čitanja saobraćajnih znakova sve potrebne informacije dobijale bi se pomoću sistema bežičnih komunikacija, koji istovremeno mogu komunicirati sa više vozila. Na ovaj način moguće je dobiti sve potrebne podatke o znaku, odnosno uslovima u saobraćaju, ali i trenutnoj brzini kretanja vozila, čime se omogućava kontrola i sankcionisanje neadekvatnog ponašanja učesnika u saobraćaju. Informacije o lokaciji bežičnih znakova se takođe prenose vozilima, kako bi upravljački sistem na vreme mogao da izvrši potreban manevar. Ovakva komunikacija, naravno, zahteva određene komponente: hardver i softver. Hardver funkcioniše kao komunikacioni uređaj i server, odnosno kontroliše slanje i prijem informacija. Server je deo računarskog hardvera (primer Raspberri Pi) koji pokreće neophodan softverski program za bežični prenos informacija preko Wi-Fi 802.11g kanala. Upotreba Wi-Fi protokola pokazala se kao efikasnija opcija u odnosu na npr. Bluetooth ili RFID tehnologiju, upravo zbog mogućnosti prenošenja informacija na udaljenostima od 70 do 100 m [12]. Prikazani način komunikacije zapravo predstavlja primer globalnog IoT sistema, koji obuhvata različite oblike upravljanja i razmene informacija (V2I, V2V, V2P, V2D i sl.) čija bi primena, u konkretnom slučaju, podržala i pratila ciljeve razvoja pametnih gradova.

Jedan od glavnih nedostataka ovakvog sistema jeste njegova ranjivost na spoljne uticaje, prekid konekcije (signala) i sl., zbog čega određeni autori predlažu postojanje sigurnosnih ITS sistema, koji bi u takvim situacijama menjali bežičnu infrastrukturu i imali ulogu privremenog medija komunikacije između vozila i okruženja [16].

4. Horizontalna signalizacija

Autonomna vozila zahtevaju jasno obeležavanje horizontalne signalizacije kako bi se sprečile greške u prepoznavanju, odnosno obezbedila mogućnost sensorima da lako čitaju pružene informacije. Problemi koji se trenutno javljaju odnose se pre svega na sam izgled oznaka. Na primer, istraživanje iz Australije [17] pokazalo je da se sistemi za pomoć pri upravljanju (održavanje pravca i skretanje) isključuju kada dođe do promene u kontinuitetu oznaka horizontalne signalizacije (npr. prelazak sa neisprekidane na isprekidane linije i obratno). Primećeno je i da koeficijent retrorefleksije ima značajnu ulogu u procesu prepoznavanja i „čitanja” oznaka. Pokazano je da su retroreflektujuće oznake najefikasnije jer ih je lakše detektovati pomoću Lidar senzora [6].

Davies (2017) je predstavio rezultate laboratorijskog testiranja algoritama sa različitim horizontalnim oznakama [18]. Zaključeno je da detekcija zavisi od širine linije (šire linije daju bolje rezultate, čak i pri nižim koeficijentima retrorefleksije) i boje (žutu

je bilo teže prepoznati od bele boje, što sa sobom povlači pitanje efikasnosti algoritama u zonama radova). Time se dolazi do drugog važnog nedostatka algoritama, a to je detekcija oznaka u slučaju lošeg kontrasta, neadekvatnog održavanja puta ili loše postavljenih (pozicioniranih) oznaka [19].

Generalno, u dosadašnjim istraživanjima evidentiran je veliki broj problema pri detekciji i prepoznavanju horizontalne signalizacije, koji i dalje ostaju primarna prepreka za širu primenu autonomnih vozila. Na primer, situacije koje aktuelnom literaturom nisu obuhvaćene ili su nedovoljno istražene odnose se na: nedostatak ili nepostojanje oznaka na putevima i ulicama nižeg ranga, pitanje nestandardizovanih oznaka, čitanje i razumevanje privremene signalizacije, uklanjanje oznaka i tragovi koji ostaju nakon uklanjanja itd.

Jedno od potencijalnih rešenja i daljih pravaca razvoja horizontalne signalizacije jeste njena digitalizacija. Kao i u slučaju vertikalne signalizacije određen broj problema mogao bi se rešiti ukoliko bi se informacije umesto vizuelno, dobijale pomoću radara u vozilu. U tom smislu, podrazumevaju se određene infrastrukturne promene, npr. postavljanje predajnika duž puta koji bi slali informacije u sistem vozila ili formiranje kontrolnog centra, iz koga bi bilo moguće komunicirati sa celokupnom mrežom, što zapravo predstavlja primer rada globalnog IoT sistema [6]. Interesantna rešenja za pomenute probleme jesu pametni-interaktivni putevi (Slika 4), koji omogućavaju komunikaciju puta i okruženja, odnosno vozila i puta (V2I).



Slika 4. Pametni putevi sa interaktivnim oznakama

Na osnovu navedenog, potreba za horizontalnom signalizacijom, u fizičkom smislu, bila bi svedena na minimum. Putna, ulična infrastruktura bila bi opremljena različitim sensorima i uređajima koji bi potrebne informacije slali do vozila (npr. putem Wi-Fi mreže). Ovaj primer predstavlja agresivni pristup (objašnjen u poglavlju 2), koji karakteriše nivo automatizacije 5 i homogen saobraćajni tok sastavljen od autonomnih vozila. Slika 4 ilustruje umereni pristup, odnosno primer mešovitog saobraćajnog toka. U ovakvoj situaciji, pored već pomenutog načina komunikacije vozila i puta, potreban je određen nivo vizuelizacije horizontalnih oznaka. U tom slučaju, primenom interaktivne signalizacije oznake bi se „pojavljivale” kada postoji zahtev za njima, čime bi se paralelno zadovoljile potrebe ostalih učesnika u saobraćaju.

5. Standardizacija saobraćajne signalizacije

Kada su u pitanju karakteristike saobraćajne signalizacije, njeno stanje i kvalitet, važno je napomenuti da u svetu još uvek ne postoje definisani standardi i norme kojima

će se odgovoriti na zahteve autonomnih vozila. Trenutno, postoje samo preporuke koje se odnose na određene aspekte (karakteristike) saobraćajne signalizacije, formirane na osnovu pojedinačnih istraživanja. Shodno tome, u ovom poglavlju biće prikazani pojedini dostupni rezultati, odnosno preporuke različitih istraživanja koje se odnose na karakteristike horizontalne i vertikalne signalizacije, sa aspekta primene autonomnih vozila (Tabela 1).

Tabela 1. Preporučene karakteristike saobraćajne signalizacije prema zahtevima AV

Država	Horizontalna signalizacija	Vertikalna signalizacija
Kalifornija (SAD)	- Preporučena širina uzdužnih oznaka 15.2cm . - “ <i>Bott’s Dots</i> ” oznake su ukinute na državnim putevima jer se ne mogu pouzdano klasifikovati od strane autonomnih vozila.	- Redovno održavati vertikalnu signalizaciju i unaprediti njen kvalitet. Održavati okruženje puta (visoko i nisko rastinje) i po potrebi unaprediti osvetljenje puta/ulica kako bi se znakovi lakše uočavali i čitali od strane autonomnih vozila.
Teksas (SAD)	- Preporučena vrednost parametra Q_d^1 u suvim, dnevnim uslovima vožnje iznosi 100 mcd/m²/lux .	/
Kanada	- Postojeći algoritmi u noćnim uslovima zahtevaju minimalnu vrednost R_f^2 od 50 mcd/m²/lux . - Preporučeni kontrast između oznaka i kolovoza trebalo bi da bude 3:1 . - Preporučuju se oznake sa jasnim (“oštrim”) ivicama u cilju bolje detekcije.	/
Australija i Novi Zeland	- Preporučeni kontrast između oznaka i kolovoza tokom noćne vožnje trebalo bi da bude između 5:1 i 10:1 . - Preporučena širina ivičnih linija 150 mm i isprekidanih linija 100 mm . - Pobojšati osvetljenost i/ili kvalitet isprekidanih linija u poređenju sa neisprekidanim linijama.	- Unificirati izgled vertikalne signalizacije i redovno kontrolisati stanje i kvalitet.

Važno je naglasiti da postoje preporuke definisane na nivou Evrope i SAD-a, koje se odnose na unifikaciju izgleda i postavljanja signalizacije, kao i na njeno adekvatno projektovanje i održavanje, u cilju lakše upotrebe i efikasnijeg funkcionisanja

¹ Koeficijent osvetljenosti pod difuznim osvetljenjem

² Koeficijent retrorefleksije

autonomnih vozila. Trenutno, na nivou Evrope, predlaže se održanje minimalnog nivoa retrorefleksije od 150 mcd/m²/lux, za sve oznake, tokom svih uslova vožnje (noć, kiša, magla i sl.), čime bi se značajno olakšao proces detekcije i prepoznavanja horizontalne signalizacije. Takođe, predloženo je i da sve uzdužne oznake budu minimalne širine od 15 cm, imajući u vidu da se šire oznake lakše uočavaju od strane algoritama, pri čemu se ograničava broj lažnih detekcija [20].

Interesantno je napomenuti i to da, sjajnost kolovoza može degradirati sposobnost sistema da detektuje uzdužne oznake na kolovozu, jer se time smanjuje kontrast. Iz tog razloga, određene zemlje poput: Kanade, Novog Zelanda i Australije dale su smernice koje se odnose upravo na nivo kontrasta (između kolovoza i oznake), koji mora biti zadovoljen, kako bi se omogućio efikasan rad algoritama. U tom smislu, u Australiji je predloženo da se zaustavi praksa mešanja žutih i belih oznaka tokom radova na putu. Istraživanjem u Australiji utvrđeno je i to da su isprekidane linije dosta teže za detektovanje od neisprekidanih. U tom smislu, oznake horizontalne signalizacije trebalo bi dodatno naznačiti kako bi se izbegle greške.

Sa druge strane, kada je reč o vertikalnoj signalizaciji, može se reći da već uspostavljeni sistem harmonizacije i dizajna znakova, u određenom smislu, ispunjava zahteve autonomnih vozila. To zapravo znači da znakovi, onakvi kakvi sada postoje na mreži zadovoljavaju potrebe sistema (da budu lako detektovani, prepoznati i pročitani). Glavni nedostaci odnose se zapravo na faktore koji se mogu kategorisati kao eksterni uticaji, npr.: starost znaka ima direktan uticaj na njegov kvalitet. Zaklonjenost znaka utiče na mogućnost njegovog uočavanja i prepoznavanja. Takođe, delimično vandalizovanje ili oštećenje saobraćajnog znaka može imati manji ili veći uticaj na njegovu čitljivost. U tom smislu, većina analiziranih zemalja predlaže redovno održavanje vertikalne signalizacije i okruženja puta.

Generalno posmatrano, kada je reč o “tradicionalnoj” saobraćajnoj signalizaciji, prvi i osnovni korak u postupku obezbeđivanja adekvatne informacije za autonomna vozila jeste zadovoljenje propisanih (nacionalnih i međunarodnih) standarda i normi, koji se odnose na njen kvalitet. Tek nakon ispunjenja ovog uslova može se razmatrati dalje unapređenje i modifikacija saobraćajne signalizacije. Jednostavnim terenskim ispitivanjima može se zaključiti da određen broj znakova i oznaka ne ispunjava navedeni uslov, što samo znači da postojeći sistemi vizuelnih komunikacija ne odgovaraju minimalnim zahtevima vozača, a samim tim ni zahtevima autonomnih vozila. Upravo iz tog razloga, najveći broj autora kao primarnu meru navodi unapređenje kvaliteta saobraćajne signalizacije (horizontalne i vertikalne) ili makar održanje propisanog (zahtevanog) nivoa stanja i kvaliteta.

6. Zaključak

U ovom radu izvršena je analiza osnovnih karakteristika horizontalne i vertikalne signalizacije u odnosu na zahteve autonomnih vozila. Diskutovani su potencijalni pravci razvoja znakova i oznaka u budućnosti i prikazani njihovi glavni nedostaci, koji u određenom smislu mogu uticati na masovniju upotrebu autonomnih vozila. Na osnovu sprovedenih analiza došlo se do nekoliko važnih zaključaka. Pre svega, važno je istaći da trenutne karakteristike saobraćajne signalizacije ukazuju na potrebu za njenim unapređenjem, ali tek nakon što se uspostavi adekvatan sistem monitoringa i kontrole stanja i kvaliteta znakova i oznaka. Glavni nedostaci saobraćajne

signalizacije odnose se, prvenstveno, na primenu drugačijih sistema komunikacije sa korisnicima, što znači da je potrebna unifikacija znakova i oznaka na globalnom nivou. Takođe, zaklonjenost signalizacije, oštećenost, vandalizovanost i sl., predstavljaju glavne prepreke u procesu efikasnog detektovanja i prepoznavanja. Shodno tome, autori, kao primarno rešenje, predlažu uspostavljanje redovnog sistema održavanja i kontrole stanja i kvaliteta kako saobraćajne signalizacije tako i njenog okruženja. Posebno analiziran aspekt u ovom radu odnosi se na set specifičnih problema koji se vezuju za detektovanje i vidljivost signalizacije u veoma lošim vremenskim uslovima (velike magle, snega i sl.), visokog nivoa oštećenosti, ali i nedostatka znakova i oznaka na području. U tom smislu, možda i vizionarski, predlaže se potpuno redizajniranje saobraćajne signalizacije, odnosno transformacija njene fizičke strukture u digitalnu. Ovakav koncept pruža različite pogodnosti kojima se, između ostalog, može rešiti i prethodno pomenuti problem prepoznavanja i čitanja signalizacije tokom veoma loših vremenskih uslova.

Na kraju, posmatrajući tehnološki razvoj i trenutna dostignuća, može se zaključiti da su promene, u oblasti koja se odnosi na izradu, implementaciju i unapređenje saobraćajne signalizacije, neminovne. Ipak, uspostavljeni trendovi i zahtevi u ovoj oblasti, ma koliko intenzivni, ukazuju na to da je za bilo kakve promene potrebno vreme, ali i resursi. Do tada, znakovi i oznake, u današnjoj formi, ostaće i dalje najvažniji medij komunikacije čoveka, puta, vozila i okruženja.

Literatura

- [1] J. Kellett, R. Barreto, A. Van Den Hengel, and N. Vogiatzis, "How Might Autonomous Vehicles Impact the City? The Case of Commuting to Central Adelaide", *Urban Policy Res.*, vol. 37, no. 4, pp. 442–457, 2019.
- [2] J. Van Brummelen, M. O'Brien, D. Gruyer, and H. Najjaran, "Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow", *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 89, no. March, pp. 384–406, 2018.
- [3] "Службени гласник РС" бр. 14/21, *Правилник о саобраћајној сигнализацији*. 2021, p. 114.
- [4] P. Zdravković, B. Stanić, S. Vukanović, and S. Milosavljević, "Vertikalna signalizacija", *Elementi saobraćajnog projektovanja*, 1997, p. 154.
- [5] P. Zdravković, B. Stanić, S. Vukanović, and S. Milosavljević, "Horizontalna signalizacija", *Elementi saobraćajnog projektovanja*, 1997, p. 154.
- [6] H. Manivasakan, R. Kalra, S. O'Hern, Y. Fang, Y. Xi, and N. Zheng, "Infrastructure requirement for autonomous vehicle integration for future urban and suburban roads – Current practice and a case study of Melbourne, Australia", *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 152, no. August, pp. 36–53, 2021.
- [7] AtkinsMobility, "Connected & Autonomous Vehicles - Introducing the Future of Mobility", 2019.
- [8] A. O. Bălan, M. J. Black, H. Haussecker, and L. Sigal, "Shining a light on human pose: On shadows, shading and the estimation of pose and shape", *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, no. Figure 1, pp. 1–8, 2007.
- [9] P. Hurney, P. Waldron, F. Morgan, E. Jones, and M. Glavin, "Review of pedestrian detection techniques in automotive far-infrared video", *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 8, pp. 824–832, 2015.

- [10] A. Trpković, M. Šelmić, and S. Jevremović, “Model for the Identification and Classification of Partially Damaged and Vandalized Traffic Signs”, *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 25, no. 10, pp. 3953–3965, 2021.
- [11] Y. Liu, M. Tight, Q. Sun, and R. Kang, “A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs)”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1187, no. 4, p. 13, 2019.
- [12] C. K. Toh, J. C. Cano, C. Fernandez-Laguia, P. Manzoni, and C. T. Calafate, “Wireless digital traffic signs of the future”, *IET Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 74–78, 2019.
- [13] European Road Assessment Programme (EuroRAP) and EuroNCAP, “Roads that Cars can Read: A Quality Standard for Road Markings and Traffic Signs on Major Rural Roads”, 2013.
- [14] C. Johnson, “Readiness of the road network for connected and autonomous vehicles”, 2017.
- [15] J. Zalacain, “How New Technologies Could Change Road Signage in the Future”, 2013.
- [16] H. Farah, S. M. J. G. Erkens, T. Alkim, and B. van Arem, “Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Directions”, *Springer*, vol. 4, pp. 187–197, 2018.
- [17] Austroads, “Implications of Pavement Markings for Machine Vision”, 2020.
- [18] C. Davies, “Effects of Pavement Marking Characteristics on Machine Vision Technology”, *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*, 2017, p. 9.
- [19] P. Carlson, “Pavement Markings for Machine Vision Systems”, *ITS World Congress*, 2017, p. 13.
- [20] European Union Road Federation, “Marking the way towards safer future”, 2018.

Abstract: *The development and improvement of traffic signalization follow, and in a certain sense, cause different technological trends, innovations and existing achievements. One of the significant milestones in terms of setting up and using traffic signalization is the development of autonomous vehicles. With the more frequent use of these vehicles, various issues have been raised, among which the place and importance of traffic signalization are being discussed in particular. Can existing signs and markings meet the demands of autonomous vehicles? Will the signage retain its physical structure, dimensions and appearance? What will be its effectiveness, the way of transmitting information, etc.? There is still no precise and unique answer to all these questions, but only visionary ideas, recommendations and different expectations. It is in this context that this paper was written, which aims to examine the possibilities of existing traffic signalization to respond to the demands of autonomous vehicles, but also to indicate the potential development and transformation of signs and markings in the future.*

Keywords: *traffic signalization, autonomous vehicles, smart roads, new technology, IoT.*

THE FUTURE OF TRAFFIC SIGNALIZATION IN THE ERA OF SMART ROADS AND AUTONOMOUS VEHICLES

Ana Trpković, Branimir Stanić, Sreten Jevremović