

Utjecaj kvalitete prometne signalizacije na rad naprednih sustava pomoći vozaču

Jembrek, Anamarija

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:646988>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-02**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Anamarija Jembrek

**UTJECAJ KVALITETE PROMETNE SIGNALIZACIJE NA RAD
NAPREDNIH SUSTAVA POMOĆI VOZAČU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Zagreb, 5. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za prometnu signalizaciju**
Predmet: **Prometna signalizacija**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6115

Pristupnik: **Anamarija Jembrek (0135246974)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj kvalitete prometne signalizacije na rad naprednih sustava pomoci vozaču**

Opis zadatka:

Prometna signalizacija predstavlja vizualnu odrednicu situacija u prometu te daje nedvosmislenu i jasnu informaciju sudionicima utječući tako na ponašanje svih sudionika u prometu. Osim za ljudske vozače, prometna signalizacije izrazito je važna i za napredne sustave pomoci vozaču. Navedeni sustavi mogu se podijeliti na pasivne sustave koji smanjuju ozljede putnika u nesreci i aktivne sustave koji pokušavaju držati vozilo pod nadzorom i izbjegavati nesrece. Iako je njihov potencijal za smanjenje prometnih nesreća značajan, na rad samih sustava utječe niz čimbenika među kojima je i kvaliteta prometne signalizacije.

S obzirom na navedeno, cilj rada je analizirati na koji način kvaliteta prometne signalizacije, u smislu njene vidljivosti, utječe na kvalitetu rada naprednih sustava pomoci vozaču vezanih uz automatsko prepoznavanje prometnih znakova i oznaka na kolniku.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Dario Babic

ZAHVALA

U ovom dijelu htjela bih izraziti nekoliko riječi zahvale onim ljudima bez kojih ne bi bila ovdje gdje jesam.

Veliko hvala profesoru i mentoru dr. sc. Dariu Babiću što mi je omogućio da izradim ovaj diplomski rad pod njegovim vodstvom. Hvala Vam na razumijevanju i svojoj ukazanoj pomoći.

Hvala mojoj obitelji, prvenstveno majci Ivančici, ocu Davoru i bratu Mariu što su bili uz mene cijeli život. Hvala što ste mi omogućili da postanem ovakva osoba kakva danas jesam. Hvala i mom Filipu bez kojeg ne bih ovdje bila ove godine, već vjerojatno slijedeće. Hvala ti što si me motivirao i ohrabrivao kad god mi je to trebalo.

Također, htjela bih zahvaliti svojim prijateljima Ivi i Filipu na svakoj toploj riječi i zajedničkim trenucima. Hvala i mom bratiću Davoru na svemu što smo proživjeli zajedno.

Hvala i mojim kolegama Nikolini, Filipu, Magdaleni, Nikoli, Stjepanu i Mariu što ste mi uljepšavali svaki odlazak na predavanja pa čak i ispite.

Rad je izrađen u sklopu projekta pod nazivom „Utvrđivanje metodologije testiranja i evaluacije ADAS sustava“ financiranog iz programa Potpore za temeljno financiranje znanstvene i umjetničke djelatnosti Sveučilišta u Zagrebu u ak. god. 2019./2020. (Drugi krug - Znanstvena izvrsnost) voditelja dr. sc. Darka Babića.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ KVALITETE PROMETNE SIGNALIZACIJE NA RAD
NAPREDNIH SUSTAVA POMOĆI VOZAČU**

**INFLUENCE OF ROAD SIGNALLING QUALITY ON THE FUNCTIONING
OF THE ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS**

Mentor: dr. sc. Dario Babić

Studentica: Anamarija Jembrek

JMBAG: 0135246974

Zagreb, rujan 2021.

SAŽETAK

U cestovnom prometu godišnje na globalnoj razini smrtno strada oko 1,35 milijuna ljudi od posljedica prometnih nesreća, čiji uzročnici mogu biti čovjek, vozilo, infrastruktura i okolina. U najvećoj mjeri na nastanak prometnih nesreća utječe upravo čovjek, čiji su postupci nepredvidivi i stohastični kao i sam promet u cjelini. Iz navedenog razloga, zadnjih desetak godina, razvijaju se napredni sustavi pomoći vozaču (engl. *Advanced Driver Assistance System* – ADAS) koji su upozoravaju vozača na opasnost i/ili preuzimaju kontrolu nad vozilom u slučaju rizične situacije, smanjujući na taj način nastanak prometnih nesreća kao i teških posljedica. U mnogim suvremenim vozilima ADAS sustavi predstavljaju sastavni dio vozila, odnosno standardnu opremu, dok se neki sustavi naručuju posebno. ADAS sustavi rade uz pomoć kamera, radara, lidara i drugih senzora za praćenje okoline u kojoj se vozilo nalazi. Važni dijelovi ADAS sustava predstavljaju sustavi detekcije oznaka na kolniku i sustavi za prepoznavanje prometnih znakova. Cilj ovog rada je ispitati navedena dva sustava, točnije utvrditi kako kvaliteta prometne signalizacije utječe na detekciju oznaka na kolniku i prometnih znakova. Istraživanje se sastoji od tri testa: 1) usporedba kvalitete detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta, 2) utjecaj retrorefleksije oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima i 3) utjecaj grafičkih promjena na detekciju pomoću sustava za prepoznavanje prometnih znakova.

Ključne riječi: ADAS sustavi, promet, sigurnost, prometne nesreće, prometna signalizacija

SUMMARY

Around 1,35 million people die every year in road traffic globally as a result of traffic accidents, which can be caused by humans, vehicles, infrastructure and the environment. The occurrence of traffic accidents is mostly influenced by humans, whose actions are as unpredictable and stochastic as the traffic as a whole. For this reason, in the last ten years, advanced driver assistance systems (ADAS) have been developed that warn the driver of danger and / or take control of the vehicle in the event of a risk situation, thus reducing the occurrence of accidents such as and severe consequences. In many modern vehicles, ADAS systems are an integral part of the vehicle, or standard equipment, while some systems are ordered separately. ADAS systems work with the help of cameras, radars, lidars and other sensors to monitor the environment in which the vehicle is located. Important parts of the ADAS system are road marking detection systems and traffic sign recognition systems. The aim of this paper is to examine these two systems, to determine more precisely how the quality of traffic signals affects the detection of road markings and traffic signs. The research consists of three tests: 1) comparison of the quality of pavement marking detection and visibility range between day and night conditions, 2) influence of pavement mark retroreflection on pavement marking system at night conditions and 3) influence of graphical changes on system detection to recognize traffic signs.

Key words: ADAS systems, traffic, safety, traffic accidents, traffic signals

SADRŽAJ

1.	Uvod.....	1
2.	Općenito o prometnoj signalizaciji	3
2.1.	Povijesni razvoj prometne signalizacije	3
2.2.	Podjela prometne signalizacije	4
3.	Općenito o naprednim sustavima pomoći vozaču.....	6
3.1.	Podjela naprednih sustava pomoći vozaču	7
3.2.	Zakonska regulativa	11
4.	Analiza stanja sigurnosti cestovnog prometa u RH	13
5.	Metodologija istraživanja.....	15
5.1.	Ispitivanja vezana za oznake na kolniku	15
5.1.1.	Istraživačka oprema	15
5.1.2.	Testne dionice i procedure ispitivanja	17
5.1.3.	Analiza podataka	18
5.2.	Ispitivanje vezano za prometne znakove.....	20
5.2.1.	Testna dionica.....	20
5.2.2.	Vozila	21
5.2.3.	Scenariji i procedure ispitivanja	22
5.2.4.	Analiza podataka	23
6.	Rezultati istraživanja.....	24
6.1.	Rezultati istraživanja povezani sa sustavom za zadržavanje vozila u prometnoj traci 24	
6.2.	Rezultat povezani sa sustavom prepoznavanja prometnih znakova.....	31
7.	Zaključak.....	36
	Literatura.....	38
	Popis slika	41
	Popis tablica	41
	Popis grafikona	42
	Popis kratica.....	43

1. UVOD

Promet predstavlja bitan čimbenik razvoja i funkcioniranja ljudskoga društva koji direktno djeluje na naseljenost, proizvodnju, razmjenu i potrošnju te ostale društvene aktivnosti. Danas u globalnom povezanom društvu gospodarstvo, kultura i životni standard ovise o prometnoj povezanosti. Međutim, sve veća mobilnost ljudi nosi za sobom i određene posljedice koje su primarno vezane uz sigurnost prometnog sustava. Naime, na globalnoj razini godišnje smrtno strada oko 1,35 milijuna ljudi od posljedica prometnih nesreća, dok između 20 i 50 milijuna ljudi zadobije određene ozljede. Također, ozljede u cestovnom prometu vodeći su uzrok smrti djece i mladih u dobi od 5 do 29 godina [1]. Upravo je iz navedenog razloga sigurnost prometa jedan od glavnih strategijskih ciljeva gotovo svih zemalja svijeta.

U Europskoj uniji 2019. godine u prometnim nesrećama na cestama živote je izgubilo manje ljudi nego prethodnih godina. Naime, 2019. godine u nesrećama je poginulo oko 22 800 osoba, što je gotovo 7 000 (23 %) manje nego 2010., a 2 % manje nego 2018. Pad smrtnih slučajeva od 23 % rezultat je značajnih napora i proaktivnih mjera i programa usmjerenih na četiri područja djelovanja: a) promjenu ponašanja sudionika u prometu, b) bolju cestovnu infrastrukturu, c) sigurnija vozila, i d) učinkovitiju medicinsku skrb nakon prometnih nesreća [2]. Iako je značajan napredak ostvaren, zacrtani cilj od 50 % manje smrtno stradalih u prometu na cestama Europske unije u periodu od 2010. do 2020. godine ipak nije ostvaren [3].

Strateški akcijski plan Komisije za cestovnu sigurnosti u okviru Europske politike sigurnosti prometa na cestama 2021. - 2030., također je postavio ambiciozne planove sigurnosti cestovnog prometa koji će do 2050. postići nula smrtnih slučajeva na cestama („vizija nula“). Kako bi dosegla „Vision Zero“, Komisija provodi Sigurni sustav u EU. Ovaj siguran sustav zahtijeva sigurnija vozila, sigurniju infrastrukturu, bolju uporabu zaštitne opreme, manje brzine i bolju njegu nakon sudara [2].

U posljednjem desetljeću značajan napor uložen je u poboljšanje sigurnosnih sustava u vozilu. Sigurnosni sustavi mogu se podijeliti na aktivne i pasivne. Sustavi pasivne sigurnosti ublažavaju posljedice prometne nesreće, dok aktivni sustavi pokušavaju izbjeći nesreće preuzimanjem kontrole [4,5]. Općenito, napredni sustav pomoći vozaču (ADAS) skup je brojnih inteligentnih jedinica integriranih u samo vozilo koje izvršavaju različite zadatke i pomažu vozačima u vožnji. S obzirom na to da oznake na kolniku, zajedno s prometnim znakovima, predstavljaju osnovna sredstva komunikacije između upravitelja cesta i sudionika u prometu, najčešće korišteni ADAS sustavi upravo su usmjereni na njihovo detektiranje i

prepoznavanje. Detektiranje oznaka na kolniku koristi se za upozoravanje vozača tijekom napuštanja prometne trake i/ili za pomoć vozaču pri zadržavanju lateralnog položaja vozila unutar kolničke trake. Glavna svrha navedenih sustava jest spriječiti prometne nesreće uzrokovane izlijetanjem vozila s ceste ili ulaskom u suprotni prometni trak. Detektiranje prometnih znakova u najvećoj mjeri služi za pružanje informacija vozaču o ograničenju brzine, zabrani pretjecanja i dr. Dakle, sustav prepoznavanja prometnih znakova (TSR) i sustavi za zadržavanje vozila u prometnoj traci pripadaju sustavima aktivne sigurnosti jer mogu spriječiti nastajanje prometne nesreće.

ADAS sustavi rade na temelju percepcije pomoću kamera, radara, lidara i srudih senzora. Kao što navedeni senzori moraju biti kvalitetni i ispravni, tako mora biti i prometna signalizacija kako bi sustav mogao detektirati oznake na kolniku i prepoznati prometne znakove. U ovom radu glavni cilj je ispitati kako kvaliteta prometne signalizacije utječe na ADAS sustave. Provedena su tri testa, od kojih su dva povezana sa oznakama na kolniku, a jedan sa prometnim znakovima. Ispitivanja povezana sa oznakama na kolniku provedena su na nekoliko testnih dionica u Republici Hrvatskoj uz pomoć Mobileye kamere i dinamičkog retroreflektometra. Provedena su dva testa: 1) usporedba kvalitete detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta i 2) utjecaj retrorefleksije oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima. Ispitivanje sustava za prepoznavanje prometnih znakova provedeno je na kampusu Sveučilišta u Zagrebu uz pomoć 17 automobila koji sadrže navedeni sustav. Na prometne znakova postavljene su grafičke izmjene kako bi se utvrdilo koliko one utječu na prepoznavanje prometnih znakova.

Rad je podijeljen na sedam poglavlja. U prvom se poglavlju navodi svrha ovog rada i testovi koji su provedeni, dok se drugo poglavlje odnosi na prometnu signalizaciju. Treće poglavlje donosi pregled naprednih sustava pomoći vozaču i zakonsku regulativu. U četvrtom poglavlju analizirano je stanje sigurnosti cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj. Peto poglavlje iznosi metodologiju istraživanja, koja je podijeljena na dva podpoglavlja: 1) Ispitivanja vezana za oznake na kolniku i 2) Ispitivanja vezana za prometne znakove. U šestom poglavlju prikazani su rezultati istraživanja, dok se u posljednjem (7) poglavlju izlažu spoznaje do kojih je analiza dovela.

2. OPĆENITO O PROMETNOJ SIGNALIZACIJI

Prometna signalizacija služi kako bi vozači i ostali sudionici u prometu mogli pravovremeno biti obaviješteni o svim pravilima koja vrijede na prometnici na kojoj se kreću. U ovom poglavlju поближе se opisuje povijesni razvoj prometne signalizacije i navodi se podjela.

2.1. Povijesni razvoj prometne signalizacije

Pojava prvog prijevoznog sredstva pogonjenog parom (1769.), dovodi do velikog napretka, u odnosu na dotadašnje prijevozno sredstvo – konjske zaprege. Radi nedovoljnog znanja i iskustva u prometu vjerojatnost za nastankom prometnih nesreća bila je povećana, što dokazuje prva prometna nesreća sa tragičnim ishodom 1869. godine. Shodno tome, pojavila se potreba za donošenjem određenih zakona i propisa kako bi se minimalizirao broj nepravilnosti u prometu u vidu prometnih nesreća i drugih izvanrednih događaja.

Prva međunarodna Konvencija o cestovnom i automobilskom prometu sklopljena je 1909. godine u Parizu. Kasnije su slijedile konvencije u drugim gradovima, a najvažnija je Ženevska konvencija iz 1949. godine na kojoj je donesen Protokol o signalizaciji na cestama, te zatim njegove izmjene i dopune iz 1968. godine koje je donijela Međunarodna konferencija Organizacije ujedinjenih naroda o prometu na cestama [6].

Konvencije su savjetovale svim državama da propisuju jednake prometne znakove, te da prometni znakovi ne sadrže riječima ispisane naredbe ili obavijesti jer ih stranci ili nepismeni ne bi razumjeli. To je bio razlog ukidanja prometnih znakova i drugih natpisa, kao npr. “odron kamena”, “pozor divljač”, “pitka voda”, “opasnost od požara”, koji su nadomješteni slikom [6].

Prvom Pariškom konvencijom određeni su oblici prometnih znakova. Znakovi opasnosti su dobili oblik istostraničnog trokuta s vrhom prema gore, znakovi izričitih naredaba su okrugli, a znakovi obavijesti pravokutni. Vremenom se mijenjala količina prometnih znakova – od početnih desetak do današnjih dvjestotinjak znakova (bez dopunskih ploča i ostalih znakova i oznaka) [6].

Posljednje izmjene i dopune Protokola o prometnoj signalizaciji iz 1968. godine uvele su u uporabu osmerokutni znak obveznog zaustavljanja umjesto dotadašnjeg okruglog znaka s ucrtanim trokutom. Njegova važnost željela se istaknuti posebnim i jedinstvenim izgledom u odnosu na ostale znakove. Dok na automobilima nije bila obvezna ugradba svjetlosne signalizacije koja se danas koristi za najavu promjene smjera vožnje, uobičajenija je bila

uporaba zvučne signalizacije. Na prilazu raskrižju jedan je zvuk trube značio nastavak vožnje ravno, dva su označavala namjeru vozača da skrene desno a tri da skrene ulijevo. Povećanjem broja automobila u gradovima i naseljenim mjestima to se pravilo moralo promijeniti [6].

Na konvenciji su definirani i propisi za oznake na kolniku. Visina oznaka mora biti manja od 6 mm, u slučaju delineatora ne više od 15 mm iznad površine ceste. Oznake moraju biti bijele ili žute boje, dok se njihova duljina i širina razlikuje ovisno o namjeni ceste. Sve riječi koje se postavljaju (ugrađuju, utiskuju) trebaju imati nazive mjesta ili riječi prepoznatljive u većini jezika, poput „stop“ ili „taksi“ [7].

2.2. Podjela prometne signalizacije

Prema Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/19) prometne znakove, signalizaciju i opremu cesta čine [8]:

1. prometni znakovi, i to:
 - znakovi opasnosti
 - znakovi izričitih naredbi
 - znakovi obavijesti
 - znakovi obavijesti za vođenje prometa
 - dopunske ploče
 - promjenjivi prometni znakovi
2. prometna svjetla, i to:
 - prometna svjetla za upravljanje prometom
 - prometna svjetla za upravljanje prometom pješaka i biciklista
 - prometna svjetla za upravljanje javnim gradskim prometom
 - prometna svjetla za označavanje prijelaza ceste preko željezničke pruge
 - prometna svjetla za obilježavanje radova na cesti i drugih zapreka i oštećenja kolnika
3. oznake na kolniku i drugim prometnim površinama, i to:
 - uzdužne oznake na kolniku
 - poprečne oznake na kolniku
 - ostale oznake na kolniku i drugim prometnim površinama
4. prometna oprema ceste, i to:
 - oprema za označavanje ruba kolnika

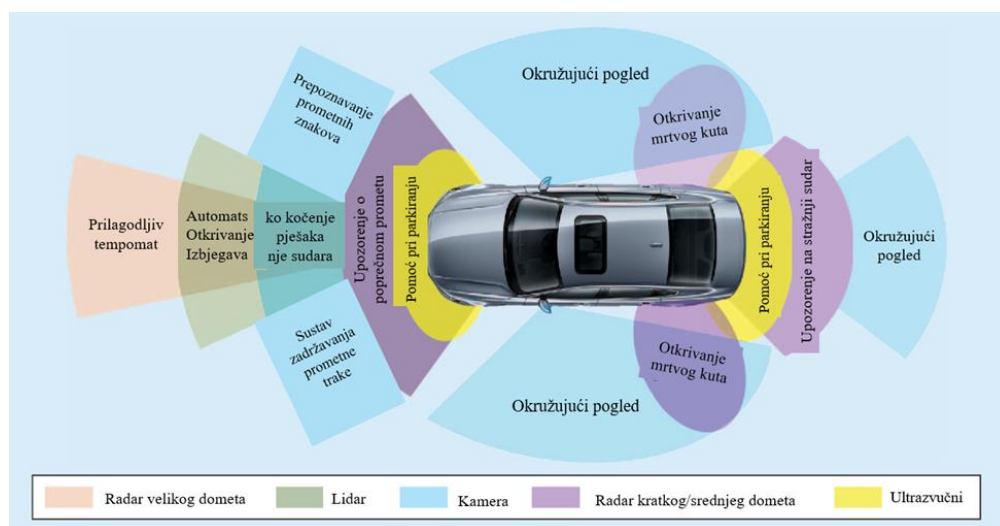
- oprema za označavanje vrha prometnog otoka
 - oprema, znakovi i oznake za označavanje zavoja, radova, zapreka i oštećenja kolnika
 - oprema za vođenje i usmjeravanje prometa u zoni radova na cesti, zapreka, privremenih opasnosti i oštećenja kolnika
 - branici i polubranici
 - prometna zrcala
 - zaštitne odbojne ograde
 - oprema protiv zasljepljivanja
 - zaštitne žičane ograde
 - pješačke i biciklističke ograde
 - ublaživači udara
 - oprema za ručno upravljanje prometom
 - pokazivač smjera vjetra
 - mjerni, upravljački i nadzorni uređaji (brojači prometa, meteorološke postaje, video nadzor i dr.)
5. oprema i mjere za smirivanje prometa
 6. cestovna rasvjeta.

3. OPĆENITO O NAPREDNIM SUSTAVIMA POMOĆI VOZAČU

Napredni sustavi pomoći vozaču (ADAS) nadgledanjem i kontroliranjem raznih parametara vozila i njegove okoline otkrivaju potencijalne opasnosti na cesti, a razvijeni su za unaprjeđenje cjelokupne sigurnosti cestovnog prometa [9].

Važnost ADAS sustava na vozilu prepoznata je vrlo brzo, stoga su provedena mnogobrojna testiranja kako bi se evaluirala njihova primjena. Tako je 1977. godine Tsukuba Mechanical Engineering Lab u Japanu kreirao prvi inteligentni automobil koji je mogao prepoznati bijele oznake na kolniku uz pomoć dviju kamera. Osim toga u periodu od 1986. do 1995. European Research Initiative financirala je 749 milijuna dolara vrijedan program nazvan PROMETHEUS. U projektu je 1994. godine predstavljen automatizirani kombi sposoban za vožnju u uobičajenom prometu, promjenu prometne trake i pretjecanje ostalih vozila [9].

Posljednjih godina pomoću tehnološkog napretka omogućen je razvoj različitih naprednih sustava pomoći vozaču koji se zasnivaju na principima rada poput kamera, radara, ultrazvučnih senzora i lidara. Pojedini sustavi vozača upozoravaju na izvanrednu situaciju pomoću vizualnih, zvučnih ili haptičkih signala, koji se još nazivaju pasivni sustavi, dok drugi (aktivni sustavi) preuzimaju kontrolu nad vozilom u obliku kočenja, izbjegavanja predmeta ispred vozila ili slično (Slika 1.).



Slika 1. Princip rada naprednih sustava pomoći vozaču

Izvor: [10]

Smanjenje broja prometnih nesreća jedan je od glavnih ciljeva ADAS sustava, ali važno je naglasiti da je i smanjenje težine posljedica prometnih nesreća također bitan cilj. Pomoću

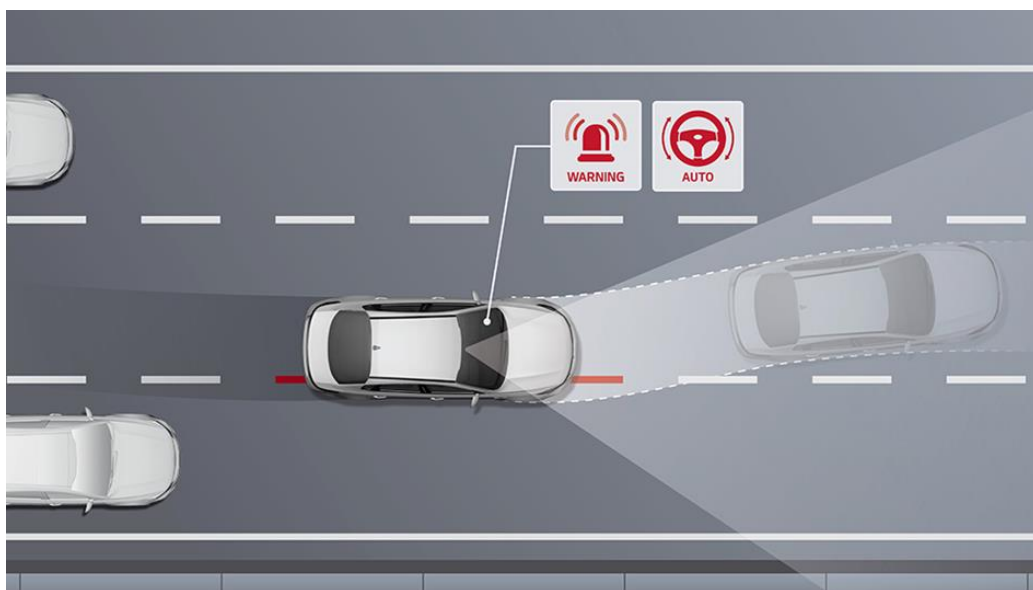
ADAS sustava aktivno se razvijaju autonomna vozila, no trenutno u primjeni, ADAS sustavi pružaju dodatne informacije o prometnoj situaciji i potencijalnim opasnostima.

3.1. Podjela naprednih sustava pomoći vozaču

Danas se koriste razne vrste ADAS sustava od kojih su neke ugrađene u vozila kao standardna oprema, dok pojedine sustave proizvođači ugrađuju u vozila po želji kupca. Uobičajene funkcije ADAS sustava uključuju prilagodljiv tempomat, sustav za održavanje vozila unutar kolničke trake, sustav prepoznavanja prometnih znakova, sustav za nadzor mrtvog kuta, sustav automatskog kočenja, sustav kontrole na sudar sprijeda i drugi.

Prilagodljiv tempomat - ACC (engl. *Adaptive Cruise Control*) jednostavan je sustav koji omogućuje vozačima prilagodbu brzine i udaljenosti od vozila ispred bez korištenja papučice gasa ili kočnice. Nakon podešavanja željene brzine vožnje pomoću tempomata, sustav prati promet ispred vozila i automatski prilagođava brzinu trenutnoj situaciji, uz održavanje sigurnosnog razmaka prema vozilima koja se nalaze ispred. U slučaju pretjecanja sporijeg vozila, nakon što vozilo prijeđe u preticajnu traku, tempomat nastavlja s ubrzavanjem do željene brzine [11]. Nedostatak ACC sustava je što vozač ima tendenciju smanjenja pažnje na vožnju te u slučaju neočekivane opasnosti vozač može kasno reagirati.

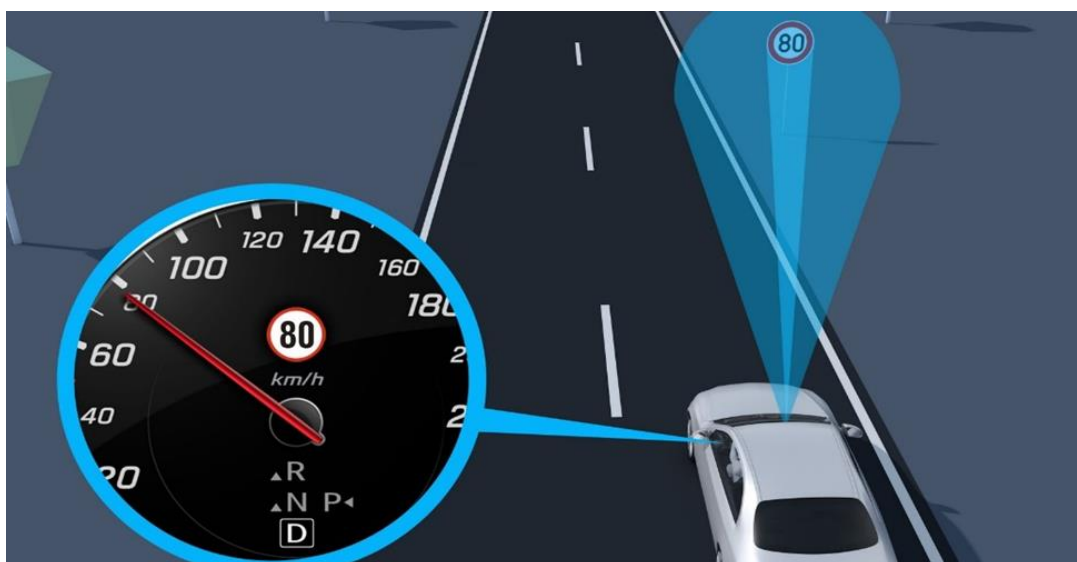
Sustav za održavanje vozila unutar kolničke trake – LKS (engl. *Lane Keeping System*) ili LKA (engl. *Lane Keeping Assistance*) i sustav za pomoć pri promjeni trake – LCA (engl. *Lane Change Assistant*) ili LDW (engl. *Lane Departure Warning*) su namjenjeni za smanjenje prometnih nesreća pri velikim brzinama osobito na autocestama i prometnih nesreća uzrokovanih slijetanjem vozila s ceste. Ovi sustavi koriste optičko prepoznavanje oznaka na cestama pomoću kamera smještenih na vozilu. LKS sustav prikazan na slici 2. predstavlja proaktivan sustav koji ne samo da upozorava vozača na promjenu prometne trake, već može okrenuti upravljač kako bi kontrolirao smjer kretanja automobila i time može smanjiti mogućnost nastanka prometne nesreće kada vozač ne posveti punu pozornost na vožnju. Senzori u uobičajenim automobilima višenamjenske su mono kamere ili višenamjenske stereo kamere. Prednosti stereo kamera su što mogu prepoznati 3D predmete, trake i moguće prepreke [12].



Slika 2. Sustav za zadržavanje prometne trake

Izvor: [13]

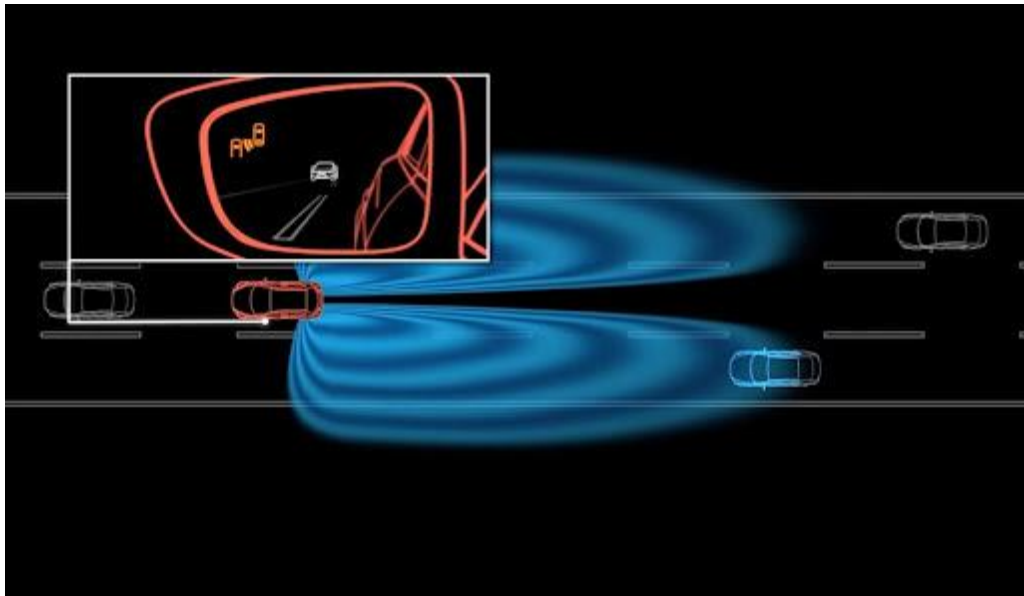
Sustav prepoznavanja prometnih znakova – TSR (engl. *Traffic Sign Recognition*) dizajniran je za otkrivanje i prepoznavanje prometnih znakova. Prikaz detektiranih prometnih znakova najčešće je vidljiv na upravljačkoj ploči u vozilu (slika 3.). Obavješćavanje vozača o ograničenju brzine olakšava i osigurava opušteniju vožnju. Također, TSR sustav može prepoznati i prometni znak koji ukazuje na zabranu preticanja vozila.



Slika 3. Sustav za prepoznavanje prometnih znakova

Izvor: [14]

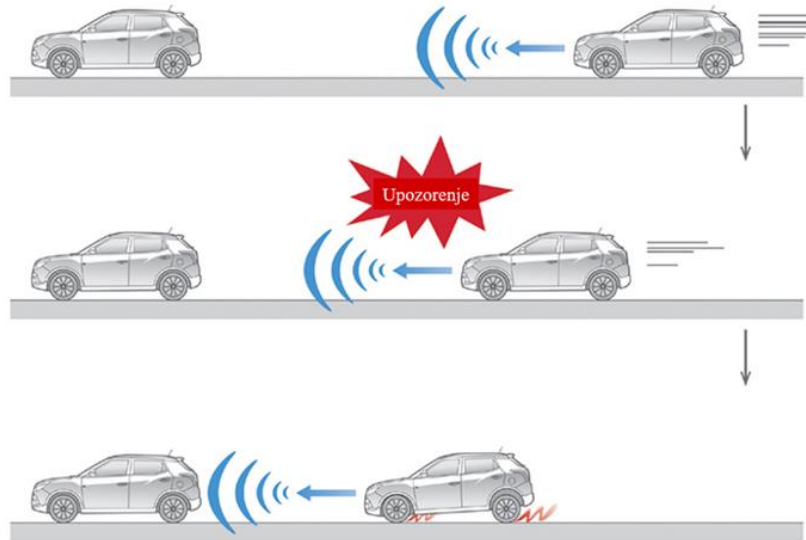
Sustav za nadzor mrtvog kuta - BSD (engl. *Blind Spot Detection*) ili BSW (engl. *Blind Spot Warning*) sustav je otkrivanja predmeta unutar mrtvog kuta nadziranjem područja pokraj vozila (Slika 4.). Funkcija sustava za otkrivanje mrtvog kuta je upozoriti vozača zvučnim ili vizualnim signalom npr. znak u bočnom zrcalu, ako je vozilo otkriveno u mrtvom kutu dok je uključen pokazivač smjera. Cilj ovog sustava izbjeći je potencijalne nesreće, posebno tijekom manevriranja kod promjene prometne trake u gradskom prometu [15].



Slika 4. Sustav za nadzor mrtvog kuta

Izvor: [16]

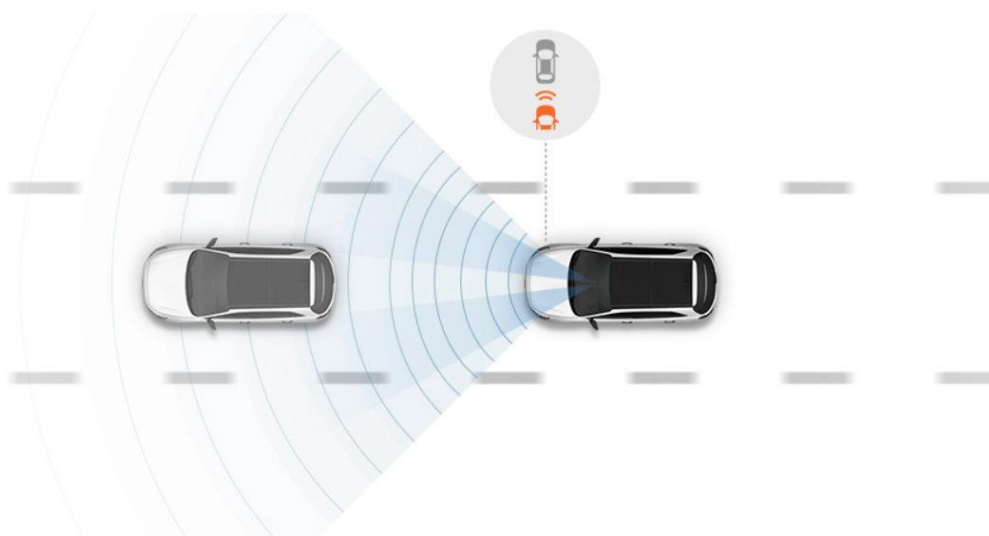
Sustav automatskog kočenja - AEB (engl. *Automatic Emergency Brake*) automatska je kočnica u nuždi ili upozorenje na sudar s automatskom kočnicom. To je inteligentan i složen sustav koji ima mogućnost automatskog primjenjivanja snage kočenja bez intervencije vozača. Navedeni sustav prikazan na slici 5. kontinuirano nadgleda područje ispred vozila i u slučaju prepoznavanja ozbiljne mogućnosti nastanka sudara upozorava vozača da započne kočenje, dok se kočnice unaprijed aktiviraju. U slučaju da vozač na kritičnoj udaljenosti ne započne kočenje, sustav automatski primjenjuje što veću snagu kočenja kako bi zaustavio vozilo ili smanjio brzinu vozila i mogućnost nastanka prometne nesreće. Za nadziranje stražnjih dijelova vozila ispred koriste se senzori kratkog dometa ili radarski senzori velikog dometa. Senzori kratkog dometa jeftiniji su i rade do brzine 50 km/h, dok su radarski senzori velikog dometa neophodni za prilagodljiv tempomat jer mogu prepoznati kritične situacije i raditi pri brzinama do 200 km/h. Podaci navedenih senzora tumače se u upravljačkoj jedinici kako bi se mogle poduzeti odgovarajuće radnje [17].



Slika 5. Sustav automatskog kočenja

Izvor: [18]

Sustav kontrole na sudar sprijeda - FCW (engl. *Forward Collision Warning*) sustav je upozorenja na frontalni sudar, odnosno sustav namijenjen pomaganju vozača u izbjegavanju i ublažavanju frontalnih sudara pomoću zvučnih, vizualnih i haptičkih upozorenja ili njihove kombinacije. Navedeni sustav pomoću radara, lidara i kamera omogućuje detekciju vozila i na temelju prikupljenih informacija sustav upozorava vozača (Slika 6.)[17]. Za razliku od sustava automatskog kočenja, ovaj sustav ne aktivira kočnice na automobilu, već samo upozorava vozača na opasnost.



Slika 6. Sustav kontrole na sudar sprijeda

Izvor: [19]

3.2. Zakonska regulativa

ADAS sustavi pokreću pravna pitanja iz razloga što postoje različiti pristupi automatizaciji i klasifikaciji istih. Naime, pravno i sigurnosno gledano nije jednako ako je vozilo opremljeno sustavima koji samo upozoravaju vozača o mogućim opasnostima ili sustavima koji mogu preuzeti kontrolu nad vozilom. Kako bi se odredile te granice Međunarodno udruženje automobilskih inženjera – SAE (engl. *Society of Automotive Engineers*) klasificiralo je 5 razina automatizacije vozila (slika 7.). Navedene razine su [20]:

- razina 0 – vozač je zadužen za sve radnje
- razina 1 i 2 - sustavi na vozilu koji mogu ponekad asistirati vozaču pri obavljanju nekih zadataka u vožnji, a vozač mora neprestano nadzirati sustav,
- razina 3 - vozač je samo operator koji nadzire funkcioniranje sustava te preuzima kontrolu ako sustav zakaže ili napravi pogrešku,
- razina 4 i 5 - vozač nema zadatak kontrolirati vozilo; razina 4 odnosi se na ograničenu okolinu (npr. samo autoceste), a razina 5 nije ograničena.



Slika 7. Stupnjevi automatizacije

Izvor: [21]

U prošlosti postepenim razvojem automatizacije stvarala se potreba za razvojem zakonodavstva koje bi reguliralo korištenje novih tehnologija na vozilima. Da bi se omogućio razvoj automatiziranih vozila u Europskoj uniji, potrebno je definirati odgovarajući pravni okvir. U tu svrhu Europska komisija priprema prijedloge za zakonodavstvo Europske unije koje onda usvajaju države članice. Tehničke propise o vozilima definira UNECE (engl. United

Nations Economic Commission for Europe), a unutar UNECE-e postoji nekoliko radnih skupina koje pripremaju propise i zajedno s predstavnicima proizvođača automobila, dobavljačima i vlastima dogovaraju tehničke zahtjeve. Propisi reguliraju minimalnu zahtijevanu sigurnost automatiziranih vozila manje usmjerenim na konstrukciju, a više prilagođenim razvojnoj prirodi tih vozila. Nakon odobravanja proizvođači smiju proizvoditi vozila koja su u skladu s tim propisima i prodavati ih na tržištu [20].

U Europskoj uniji od svibnja 2022. godine napredni sustavi postat će obavezni za sva nova vozila, a za postojeće modele vozila od 2024. godine. Zakonskom regulativom obuhvaćeni su sljedeći sustavi: inteligentni sustav kontrole brzine, sustav za olakšavanje ugradnje uređaja za blokadu u slučaju vožnje pod utjecajem alkohola, sustav za upozoravanje u slučaju pospanosti i manjka pozornosti vozača, napredni sustav za upozoravanje u slučaju odvratanja pozornosti vozača, signal za zaustavljanje u nuždi, sustavi detekcije stražnjeg poprečnog prometa i uređaj za snimanje podataka o događajima („crna kutija”). Prema procjenama samo inteligentnim sustavom za pomoć pri kontroli brzine (ISA) u EU-u mogao bi se smanjiti broj smrtnih slučajeva na cestama za 20 % [20].

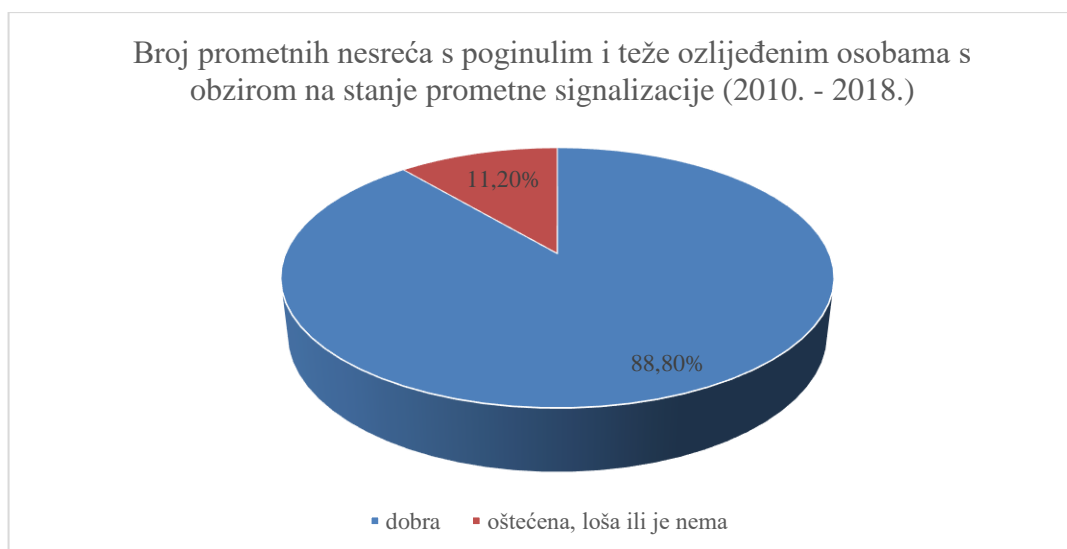
Za osobna i laka gospodarska vozila također će biti obavezan sustav za kočenje u nuždi, koji je već obavezan za teretna vozila i autobuse, kao i sustav za održavanje vozila u prometnoj traci. Većina tih tehnologija i sustava trebali bi postati obavezni od svibnja 2022. za nove modele i od svibnja 2024. za postojeće modele. Kamioni i autobusi morat će se dizajnirati i izraditi tako da su ranjivi sudionici u prometu, poput biciklista i pješaka, vozaču vidljiviji tzv. izravnim vidom. Tehnologija izravnog vida trebala bi se primjenjivati na nove modele od studenog 2025., a na postojeće modele od studenog 2028. godine [22].

4. ANALIZA STANJA SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA U RH

U razdoblju od 2010. do 2018. godine na području Republike Hrvatske zabilježeno je ukupno 322 501 prometnih nesreća. U promatranom razdoblju najmanji broj prometnih nesreća zabilježen je 2014. godine kada se dogodila ukupno 31 432 prometna nesreća, a najveći 2010. godine kada se dogodilo 44 396 prometnih nesreća. Broj prometnih nesreća u 2018. godini predstavlja smanjenje od 24,6% u odnosu na 2010. godinu [23].

Najveći broj prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama u razdoblju od 2010. do 2018. godine čine slijetanja vozila s ceste (7 438, 28,50 %). Zatim slijedi nalet na pješaka (4 706, 18,03 %), te frontalni (3 567, 13,67 %) i bočni (3 306, 12,67 %) sudari. Navedene četiri vrste prometnih nesreća zajedno su činile približno 73% svih prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama [23].

Broj prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama s obzirom na stanje horizontalne i vertikalne signalizacije prikazano je na grafikonu 1. Ukupno 23 175 (88,8 %) prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama dogodilo se kada je stanje prometne signalizacije ocijenjeno kao dobro, dok se 2 926 (11,2 %) teških prometnih nesreća dogodilo kada prometne signalizacije nije bilo ili je ocijenjena kao loša ili oštećena. Navedene brojke treba uzeti u obzir jer se prilikom očevida provodi samo vizualna kontrola signalizacije pomoću koje se ne mogu utvrditi stvarne razine kvalitete [23].

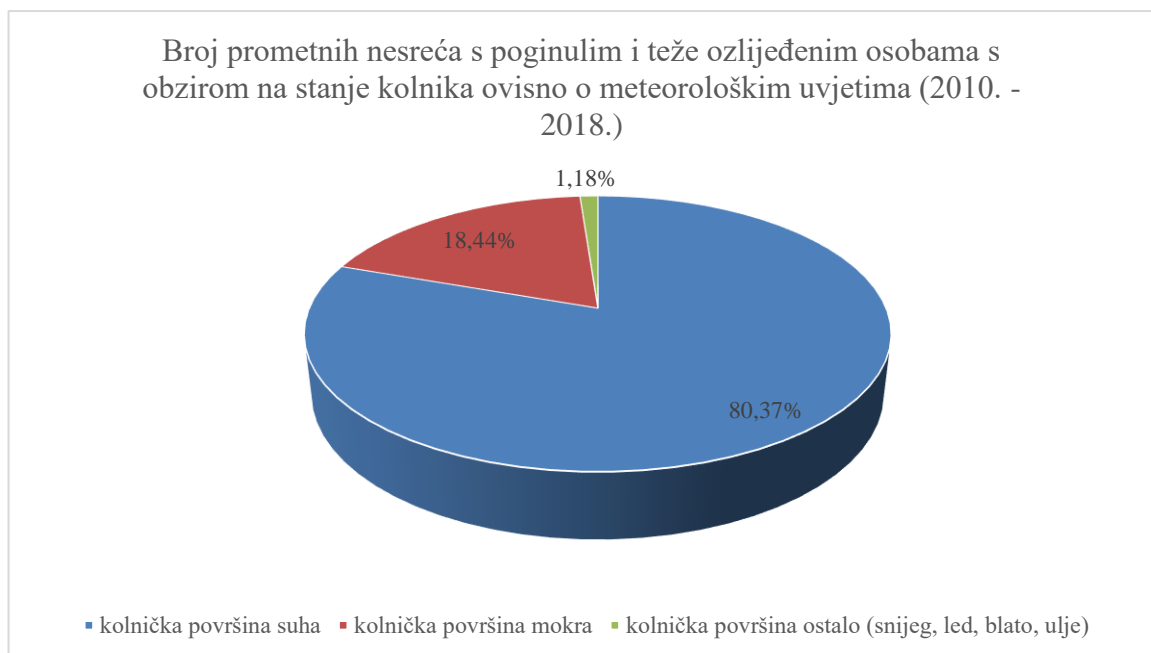


Grafikon 1. Prikaz broja prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama s obzirom na stanje prometne signalizacije

Izvor: [23]

Okolnost se može definirati kao neposredan uzrok zbog kojeg dolazi do prometne nesreće. Prema klasifikaciji postoje dvije različite okolnosti u kojima je uzrok brzina – brzina neprimjerena uvjetima i neprilagođena brzina. Međutim, obje navedene okolnosti predstavljaju jedan od najopasnijih uzročnika prometnih nesreća – brzinu. Kada se govori o brzini kao okolnosti prometnih nesreća, ona je uzrok čak 39 % prometnih nesreća sa smrtno stradalima i teško ozlijeđenima. Kod teških prometnih nesreća koje imaju okolnost brzine 50 % nesreća se odnosi na slijetanje vozila s ceste što je gotovo dvostruko više u odnosu na udio slijetanja vozila s ceste kad su analiziraju sve teške prometne nesreće. Nakon slijetanja vozila s ceste s udjelom od po 13 % teških prometnih nesreća s okolnosti brzine sudjeluju vrste nesreća naleta na pješaka i sudar iz suprotnih smjerova [23].

Grafikon 2. prikazuje ukupan broj prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama u razdoblju od 2010. do 2018. godine s obzirom na stanje kolnika ovisno o meteorološkim uvjetima – kiša, snijeg, led, blato itd. Osim navedenog, što je posljedica vremenskih prilika, na kolniku se može nalaziti ulje i slične stvari. Iz grafikona 2 vidljivo je da se 20 978 (80,4 %) prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama dogodilo na kolniku koji je bio suh, 4 814 (18,4 %) na kolniku koji je bio mokar te 309 (1,2 %) kada je na kolniku bio snijeg, led, ulje ili sl [23].



Grafikon 2. Prikaz broja prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama s obzirom na stanje kolnika ovisno o meteorološkim uvjetima

Izvor: [23]

5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazana je metodologija istraživanja. Poglavlje se sastoji od dva podpoglavlja od kojih jedan opisuje istraživačku opremu, testne dionice, procedure mjerenja i analizu podataka dva provedena testa u vezi oznaka na kolniku, dok drugo podpoglavlje opisuje vozila, testnu dionicu, scenarije, postupak testiranja i analizu podataka koje se odnosi na test vezan za prometne znakove.

5.1. Ispitivanja vezana za oznake na kolniku

Provedena su dva ispitivanja u svrhu analize detekcije oznaka na kolniku pomoću Mobileye kamere. Test 1 odnosi se na utjecaj retrorefleksije (noćne vidljivosti) oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima, dok test 2 uspoređuje kvalitetu detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta. U nastavku je opisana istraživačka oprema korištena za navedena ispitivanja.

5.1.1. Istraživačka oprema

a) Mobileye kamera

Mobileye je globalni lider u razvoju tehnologije vida za napredne sustave za pomoć vozaču (ADAS) i autonomnu vožnju. Naime, više od 27 proizvođača automobila koristi određene tehnologije tvrtke Mobileye za svoje tehnologije upravljanja vozilima [24]. Korištena je Mobileye 360 kamera instalirana u testno vozilo Sveučilišta u Grazu (Slika 8.). Navedena kamera, koristeći čip za obradu slika, omogućava kvalitetnu obradu slika u realnom vremenu različitih objekata na cestama kao što su oznake na kolniku, pješaci, ostala vozila i sl.



Slika 8. Mobileye kamera (lijevo) i testno vozilo Sveučilišta u Grazu (desno)

Izvor: [25]

Za potrebe istraživanja zabilježeni su podatci povezani s tipom uzdužnih oznaka na kolniku (pune/isprekidane), približnom širinom oznaka, dometom vidljivosti i kvaliteti detekcije središnjih i rubnih linija. Tehničke specifikacije Mobileye sustava vidljive su u tablici 1.

Tablica 1. Tehničke specifikacije Mobileye kamere

Vidni senzor	
Optički senzor	Aptina MT9V024 (1/3) RCC
Oblik polja	Ukupno: 752 H x 480 V – aktivni pikseli: 640 H x 480 V
Veličina piksela	6,0 μm x 6,0 μm
Dinamički raspon	> 55 dB linearno; > 100 dB u HDR režimu
Odaziv	4,8 V/lux sek (550 nm)
Kut gledanja	38 ° (vodoravno)
Raspon fokusa	5 m do beskonačnosti
AGC	Automatska kontrola senzora slike za visoki dinamički raspon
Procesor vida za EyeQ2	
Brzina sata 332 MHz u sedam paralelnih procesa	
Dvije MIPS24KF 32 bitni CPU	
Osam 64 – bitnih uređaja za računanje vida (VCE)	
Osam kanala DMA	
64 – bitna širina 512 KB on - chip SRAM	

Izvor: [26]

Testno vozilo također je opremljeno preciznim mjernim uređajem za zabilježavanje putanje kretanja vozila kombinacijom GPS lokalizacije (Novatel OEM-6-RT2 prijemnik) i inercijalne mjerne jedinice (GENESYS ADMA G-III).

b) Dinamički retroreflektometar

Za ispitivanje noćne vidljivosti, odnosno retrorefleksije oznaka na kolniku koristi se dinamički retroreflektometar. Navedeni uređaj postavljeno je s bočne strane na mjerno vozilo te se na taj način omogućuje konstantno mjerenje noćne vidljivosti oznaka na kolniku tijekom vožnje vozila brzinom do 120 km/h [27]. U svrhu ovog istraživanja korišten je mjerni uređaj tvrtke Zehntner (ZDR 6020) postavljen na mjerno vozilo Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu (Slika 9.).



Slika 9. Mjerno vozilo s postavljenim uređajem ZDR 6020.

Izvor: [27]

Prije početka mjerenja mjerni je uređaj kalibriran u skladu s postupkom kalibracije propisanim od strane proizvođača. Mjerni interval namješten je na 50 m, što znači da uređaj svakih 50 m računa prosječnu vrijednost retrorefleksije unutar odgovarajućeg mjernog intervala i navedenu vrijednost pohrani.

5.1.2. Testne dionice i procedure ispitivanja

Istraživanje je provedeno u Zagrebačkoj i Sisačko-moslavačkoj županiji u Republici Hrvatskoj na četiri dionice cesta, čija ukupna duljina iznosi 120,8 km. Dionice predstavljaju dvosmjernu cestu sa širinom jedne prometne trake od 3,5 m i malim prometnim opterećenjem. Nadalje, dionice većinom prolaze kroz ruralna područja i djelomično kroz naselja. Sve oznake na kolniku bijele su boje, široke 15 cm i izrađene od boja na bazi otapala (Tip 1). Glavne karakteristike testnih sekcija prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Karakteristike testnih sekcija

	Duljina dionice (km)	Širina oznaka (cm)	Duljina središnje oznake (km)	Starost oznake	Duljina rubne oznake (km)
1	32,21	15	puna: 20,61 isprekidana: 11,60	središnja: < 6 mj. rubna: > 1 god.	puna: 11,73
2	20,53	15	puna: 14,68 isprekidana: 5,85	središnja: < 6 mj. rubna: > 1 god.	puna: 11,30
3	38,05	15	puna: 15,00 isprekidana: 23,05	središnja: < 6 mj. rubna: > 1 god.	puna: 22,27
4	30,01	15	puna: 30,08	središnja: > 1 god.	-

Istraživanje se sastoji od dva testa: 1) usporedba kvalitete detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta i 2) utjecaj retrorefleksije (noćne vidljivosti) oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima. Mjerenje prvog testa (dinamičkim retroreflektometrom i Mobileye kamerom) provedeno je u dva navrata, prvi put za vrijeme noćnih uvjeta (21.9.2020.), a drugi put u dnevnim uvjetima (22.9.2020.), dok je mjerenje drugog testa provedeno tijekom jedne noći (21.9.2020.). Brzina vožnje tijekom mjerenja bila je u skladu s ograničenjima brzine, a kretala se između 60 km/h i 80 km/h. Za vrijeme oba mjerenja vremenski uvjeti su bili povoljni (vedro i bez oborina).

5.1.3. Analiza podataka

Podaci su analizirani na temelju provedenih mjerenja i dobivenih rezultata. U narednom poglavlju opisana je metodologija obrade i analize podataka ovisno o vrsti testiranja.

1. test Usporedba kvalitete detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta

Podaci vezani uz domet vidljivosti i kvalitetu detekcije oznaka na kolniku prikupljeni su Mobileye kamerom. Kvaliteta detekcije rangirana je pomoću ljestvice od 0 do 3 (0 – „ništa nije očitano“, 1 – „niska pouzdanost očitavanja“, 2 – „srednja pouzdanost očitavanja“ i 3 – „visoka pouzdanost očitavanja“). Brzina prikupljanja uzoraka pomoću kamere namještena je na 100 Hz. Rezultati mjerenja između dnevnih i noćnih uvjeta povezani su GPS koordinatama te su provedene dvije analize: 1) kvaliteta detekcije oznaka na kolniku i 2) domet vidljivosti.

U prvoj analizi za svaku dionicu izračunat je broj uzoraka za svaku razinu kvalitete. Wilcoxonov rangirani test korišten je za testiranje razlike između broja razina kvalitete na svakoj dionici tijekom dana i noći. Općenito Wilcoxonov rangirani test neparametarski je test za usporedbu podataka s obzirom na to da je kvaliteta detekcija kategorička varijabla [28].

Nadalje, analiza dometa vidljivosti uključuje izračun apsolutnih prosjeka za svaku dionicu, oznaku i kategoriju kvalitete detekcije, kao i prosječnu razliku i standardnu devijaciju kada je dnevna kvaliteta detekcije oznaka bila veća u odnosu na noćne uvjete i obrnuto. Nadalje, t – test uparenih uzoraka korišten je za testiranje razlike između noćnih i dnevnih uvjeta za svaku oznaku na svakoj cesti. T-test statistički je postupak za određivanje statističke značajnosti razlike između dva uzorka tj. između dvije aritmetičke sredine [29]. Kao i u prvom testu značajna razina postavljena je na 5 %, a za analizu korišten je IBM SPSS 26.

2. test Utjecaj retrorefleksije (noćne vidljivosti) oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima

Podaci dobiveni pomoću dinamičkog retroreflektometra, kao što je ranije navedeno, snimljeni su s rasponom mjernog intervala od 50 m te predstavljaju prosječnu vrijednost retrorefleksije (noćne vidljivosti) unutar mjernog intervala.

S ciljem lakše obrade vrijednosti retrorefleksije kategorizirane su u četiri skupine: 1) $< 100 \text{ mcd/lx/m}^2$; 2) $\geq 100 \leq 200 \text{ mcd/lx/m}^2$; 3) $> 200 \leq 300 \text{ mcd/lx/m}^2$; 4) $> 300 \text{ mcd/lx/m}^2$. Kao i kod prvog testa Mobileye kamerom prikupljeni su podaci vezani uz domet vidljivosti i kvalitetu detekcije oznaka na kolniku. Domet vidljivosti iskazan je u metrima (maksimalan domet vidljivosti iznosi 80 m). Kvaliteta detekcije rangirana je, kao i u prethodnom testu, pomoću ljestvice od 0 do 3 (0 – „ništa nije očitano“, 1 – „niska pouzdanost očitavanja“, 2 – „srednja pouzdanost očitavanja“ i 3 – „visoka pouzdanost očitavanja“). Brzina kojom kamera prikuplja uzorke namještena je na 100 Hz.

Budući da je cilj ovog testa isključivo analizirati utjecaj retrorefleksije na detekciju oznaka na kolniku, manji dijelovi testnih dionica koji prolaze kroz naseljena područja isključeni su iz istraživanja iz razloga što na tim područjima postoji cestovna rasvjeta. Korištenjem QGIS alata podaci su preklapljeni tj. vrijednosti retrorefleksije pridružene su podacima s Mobileye uređaja. Nakon toga za svaki interval od 50 m izračunate su prosječne vrijednosti kvalitete detekcije i dometa vidljivosti. Pomoću Kolmogorov – Smirnovog testa ispitani su domet vidljivosti i normalna raspodjela retrorefleksije (R_L). Navedeni test predstavlja statistički test koji se upotrebljava za spitivanje hipoteze, uspoređujući kumulativnu raspodjelu podataka s očekivanom kumulativnom normalnom raspodjelom [30]. Za testiranje korelacije između retrorefleksije, dometa vidljivosti i kvalitete detekcije oznaka korišten je Spearmanov koeficijent korelacije koji predstavlja neparametarski test koji omogućuje ispitivanje korelacije između kategoričkih varijabli, što je u ovom istraživanju slučaj jer je kvaliteta detekcije podijeljena na 4 kategorije [31].

Nadalje, Kruskal – Wallinsov test korišten je za utvrđivanje statistički značajne razlike između a) dometa vidljivosti i definiranih kategorija retrorefleksije i b) prosječne retrorefleksije između pojedine kategorije kvalitete detekcije. Kruskal – Wallinsov test predstavlja test analize varijance, samo umjesto brojčanih mjernih podataka koristi kategorije [32]. Daljnja analiza Kruskal – Wallinsovih testova rađena je nizom Mann – Whitneyevih takozvanih U testova s Bonferron korigiranom razinom statističke značajnosti. Mann-Whitneyev U test

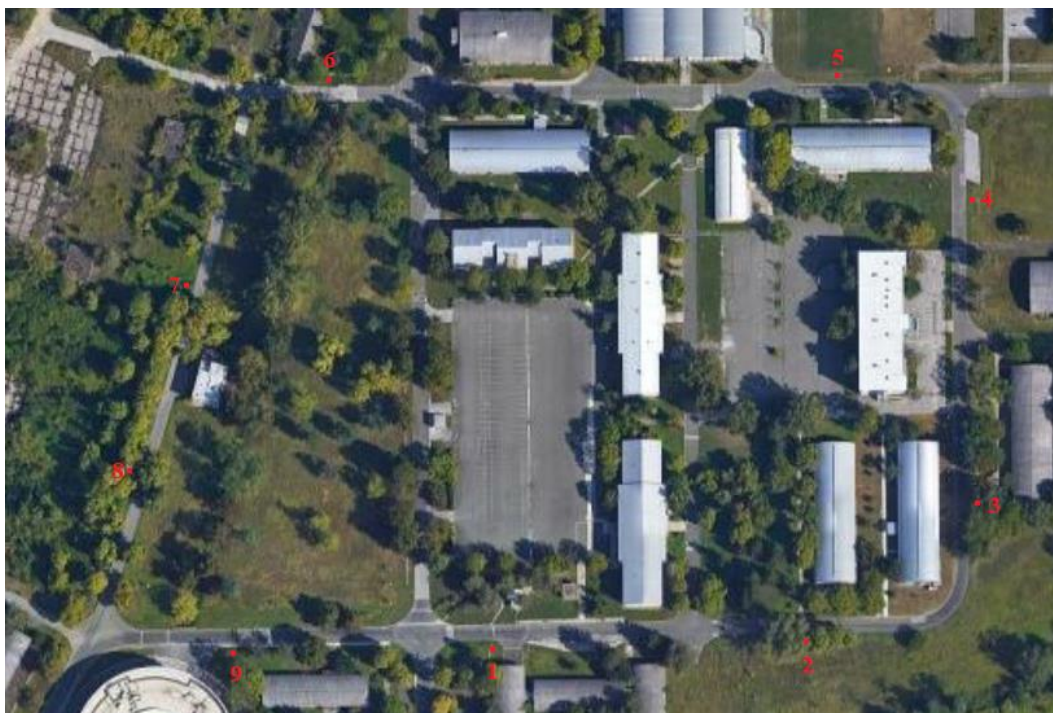
neparametarski je test primjenjiv na uzorke koji ne slijede normalnu distribuciju ili sadrže malo podataka [33]. U svim testovima značajna razina postavljena je na 5 %. Za statističku analizu korišten je IBM SPSS 26.

5.2. Ispitivanje vezano za prometne znakove

U ovom djelu rada opisana je metodologija istraživanja, koja obuhvaća opis testne dionice, vozila, scenarija i procedure ispitivanja i analize podataka.

5.2.1. Testna dionica

Ispitivanje je provedeno na kružnoj prometnici u kampusu Sveučilišta u Zagrebu. Cesta je dvosmjerna s malom prometnim opterećenjem jer se koristi samo u svrhe povezivanja objekata na kampusu. Duž ispitne dionice postavljeno je devet znakova kao što je prikazano na slici X. Korišteno je sedam znakova na koje su postavljeni različiti grafički dodaci sukladno scenariju, dok su preostala dva prometna znaka (8 i 9) postavljena samo u kontrolne svrhe (njihova očitavanja nisu zabilježena i analizirana). Korištena su dva tipa prometnih znakova izričitih naredbi, a to su znak ograničenja brzine i znak zabrane pretjecanja. Navedeni prometni znakovi su odabrani iz razloga što većina današnjih sustava za prepoznavanje znakova, prepoznaje upravo navedene. Uupno su korištena četiri znaka ograničenja brzine (50 km/h, 60 km/h, 90 km/h i 100 km/h) i tri znaka zabrane pretjecanja. Ograničenja brzine (50 km/h, 60 km/h i 90 km/h) odabrana su zbog njihove učestalosti na prometnicama. Također, razlog odabira navedenih znakova je i taj da se značenje prometnog znaka može lako promijeniti. Na primjer, uz vrlo malu izmjenu, 60 km/h lako se može promijeniti na 80 km/h. Ograničenje brzine od 100 km/h odabrano je jer sadrži tri znamenke. Postavljeni znakovi promjera su 60 cm i postavljeni su prema hrvatskom standardu [8] koji podrazumijeva udaljenost 30 – 75 cm od ruba ceste i visinu između 1,2 i 1,5 metara. Minimalna udaljenost između znakova iznosi 100 m, a na području postavljanja nije bilo smetnji u smislu okoliša ili objekata koji bi utjecali na sustav prepoznavanja prometnih znakova.



Slika 10. Lokacije postavljenih prometnih znakova

Prometni znakovi raspoređeni su na slijedeći način:

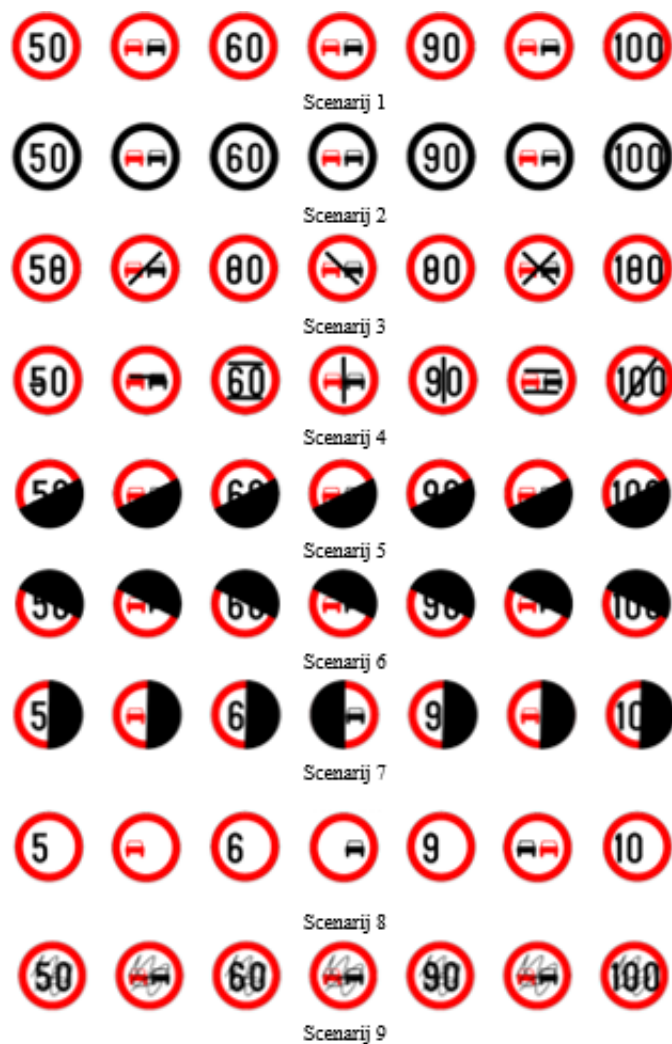
1. ograničenje brzine 50 km/h
2. zabrana pretjecanja
3. ograničenje brzine 60 km/h
4. zabrana pretjecanja
5. ograničenje brzine 90 km/h
6. zabrana pretjecanja
7. ograničenje brzine 100 km/h
8. zabrana pretjecanja (kontrolni znak)
9. ograničenje brzine 60 km/h (kontrolni znak)

5.2.2. Vozila

Istraživanje je provedeno uz pomoć sedamnaest (17) automobila. Četrnaest automobila je bilo od različitih proizvođača, dok su preostala tri od istog. Korištena vozila pretežito su nove generacije (12 ih je proizvedeno 2020. godine), dok je ostalih pet vozila proizvedeno u razdoblju od 2014. do 2019. godine. Svaki automobil sadrži sustav za prepoznavanje znakova (TSR) koji se služi kamerom smještenom na vjetrobranskom staklu unutar vozila.

5.2.3. Scenariji i procedure ispitivanja

Kako bi se ispitala točnost sustava za prepoznavanje znakova (TSR) stvoreno je devet scenarija. U prvom scenariju ispitivanje je izvršeno na znakovima koji nisu imali nikakvu grafičku promjenu, te je navedeni scenarij služio za kontrolu. U drugom scenariju crveni rubovi znakova prekriveni su crnim papirom. U trećem i četvrtom scenariju napravljene su manje promjene na simbolima, kao na primjer, komad crnog papira postavljen je na način da ograničenje brzine od 60 km/h izgleda slično kao 80 km/h ili su postavljene crne crte na zabrani pretjecanja. U petom, šestom i sedmom scenariju polovica lica znaka prekrivena je crnim papirom, a razlika između scenarija je u orijentaciji pokrivenosti. U osmom scenariju na znakovima za ograničenje brzine posljednja znamenka (0) prekrivena je bijelim papirom. Nadalje, u dva slučaja na znakovima zabrane pretjecanja simboli automobila prekriveni su bijelim papirom, dok su u trećem slučaju simboli na znaku preslikani. U posljednjem scenariju simboli su prekriveni grafitima.



Slika 11. Prikaz znakova korištenih u pojedinom scenariju

Ispitivanje je provedeno tijekom tri dana (između 9:00 i 15:00 sati). Tijekom sva tri dana vrijeme je bilo sunčano i bez padalina. Prije početka ispitivanja provedena je probna vožnja sa svakim vozilom radi utvrđivanja pravilnog rada TSR sustava. Svako testno vozilo prošlo je jednom testnu stazu za svaki scenarij. Važno je za naglasiti da je nakon prolaska svakog prometnog znaka zabilježen odaziv sustava, tj. jesu li znakovi prikazani vozaču ili ne, te ukoliko jesu, što je točno prikazano. Brzina vožnje iznosila je između 40 km/h i 60 km/h.

5.2.4. Analiza podataka

Za prvi dio analize podaci su grupirani u tri kategorije: 1) ispravno prepoznati znakovi, 2) naprepoznati znakovi i 3) pogrešno prepoznati znakovi. Za svaku kategoriju izračunata je i uspoređena postotna raspodjela rezultata. Za drugi dio analize, rezultati iz druge i treće skupine (neprepoznati i pogrešno prepoznati znakovi) su grupirani s obzirom da predstavljaju pogrešku u radu TSR sustava. Nadalje, scenariji su grupirani na temelju razine izmjena kojima su podvrgnuti:

- kontrola (scenarij 1)
- manje promjene (scenariji 2, 3 i 4)
- srednje promjene (scenariji 8 i 9)
- značajne promjene (scenariji 5, 6 i 7).

Scenariji su grupirani na navedeni način kako bi se analizirale razlike između kontrolnog scenarija (1) i svake razine grafičke promjene. Izračunate su srednje vrijednosti za svako vozilo i skupinu, a ponovljene mjere ANOVA s Bonferronijevom prilagodbom (alfa razina 0,05) korištene su za ispitivanje razlika između kontrolnih uvjeta i svake skupine.

U drugom dijelu analize ispitane su razlike između svakog vozila prema scenarijima. Budući da su vrijednosti u skupu podataka za ovu analizu bile dihotomne, korišten je Cochran-ov Q test (alfa razina 0,05). Budući da je jedna od pretpostavki Cochranova Q testa da uzorak ima dvije, međusobno isključujuće kategorije, analiza je provedena na kategorijama ispravno prepoznatih znakova, a ne na neprepoznatim ili pogrešno prepoznatim znakovima.

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati su razdvojeni prema testu koji je proveden u skladu s provedenim analizama. Kao što je ranije navedeno, u ovom radu odrađena su tri testa od kojih su dva povezana sa sustavom za zadržavanje vozila u prometnij traci i jedan koji se temelji na sustavu prepoznavanja prometnih znakova.

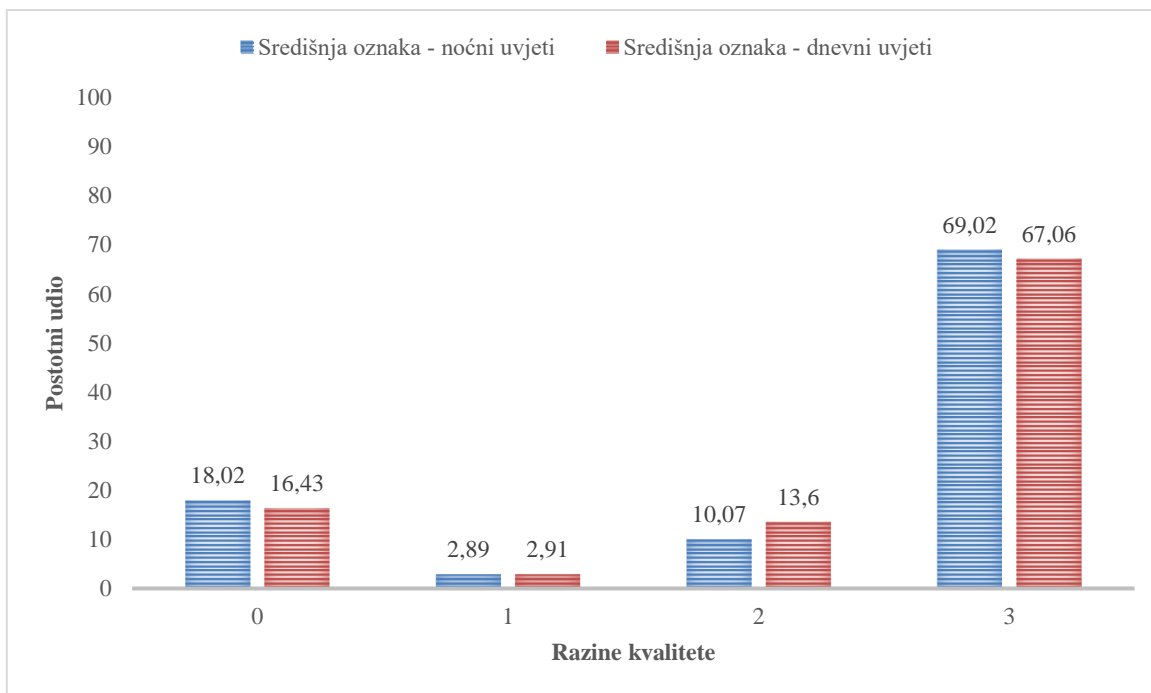
6.1. Rezultati istraživanja povezani sa sustavom za zadržavanje vozila u prometnoj traci

U ovom podpoglavlju navedeni su rezultati testa 1 - Usporedba kvalitete detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta i testa 2 – Utjecaj retrorefleksije (noćne vidljivosti) oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima.

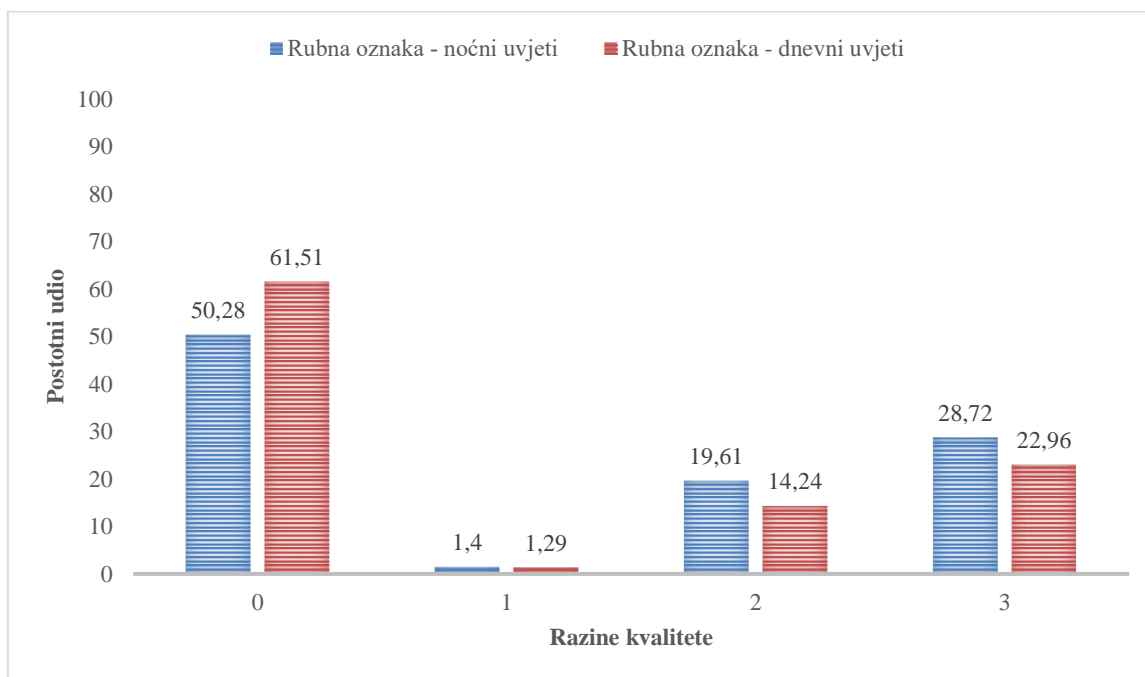
1. test Usporedba kvalitete detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta

Tijekom noćnih uvjeta 67 % svih očitavanja rubnih oznaka rangirano je kao razina 3 (visoka pouzdanost otkrivanja). Razinu 2, koja predstavlja „srednju pouzdanost otkrivanja“, prikazalo je 13,6 % rubnih oznaka, dok je gotovo 3 % imalo „nisku pouzdanost otkrivanja“ (razina 1). Pored ostalog, 16,4 % rubnih oznaka imalo je razinu 0 („ništa nije očitano“). Slični rezultati dobiveni su i za središnje oznake: 69 % središnjih oznaka rangirano je kao razina 3, 10 % razina 2, gotovo 2 % razina 1, dok je neočitanih oznaka (razina 0) 18 %.

Uzevši u obzir ukupne rezultate za središnje oznake u dnevnim uvjetima, vidljive su oscilacije u određenim slučajevima. Naime, broj uzoraka klasificiranih kao razina 2 povećan je za 3,5 % u odnosu na noćne uvjete. Broj uzoraka razvrstanih u razine 3 i 0 smanjen je u odnosu na noćne uvjete za oko 2 %, dok je razina 1 ostala gotovo ista kao i u noćnim uvjetima. U slučaju rubnih linija zabilježeno je smanjenje razine detekcije 2 i 3 za oko 5 %, razina 1 ostala je gotovo ista, dok se razina 0 povećala za 11 % u odnosu na noćne uvjete. Navedeni podaci prikazani su na grafikonima 1 i 2.



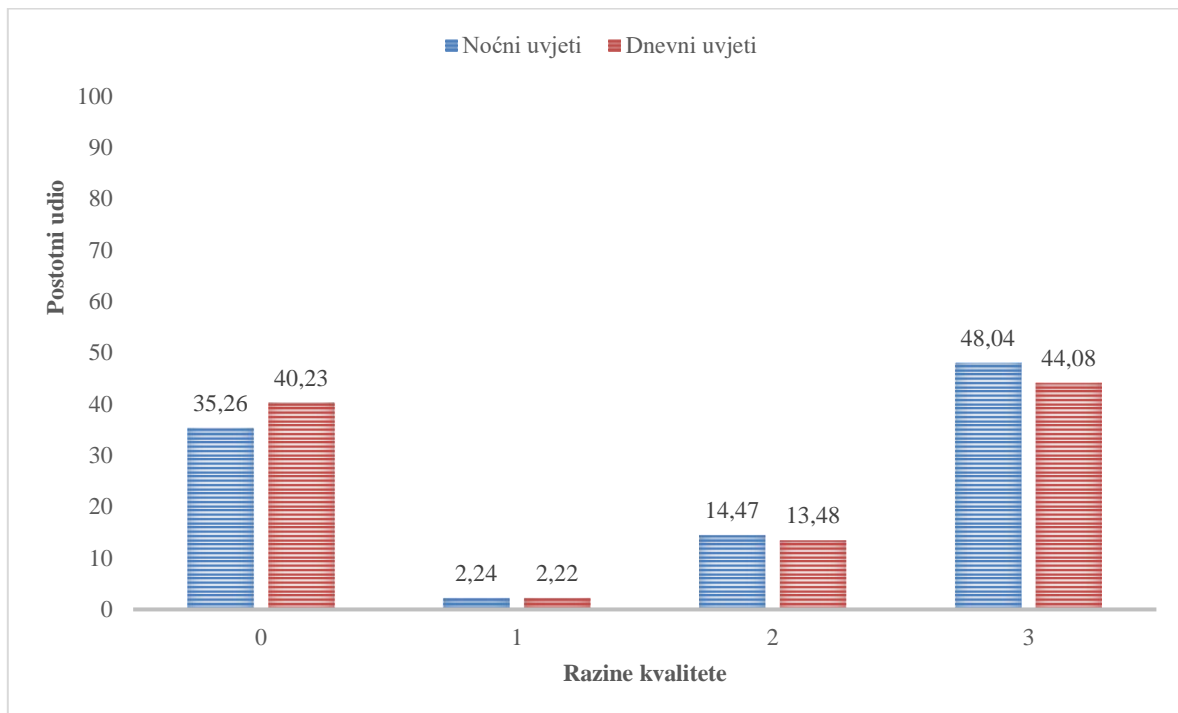
Grafikon 3. Usporedba očitavanja Mobileye sustava (razina kvalitete) između mjerenja kvalitete noću i danju za središnju oznaku



Grafikon 4. Usporedba očitavanja Mobileye sustava (razina kvalitete) između mjerenja kvalitete noću i danju za središnju i rubnu oznaku

Analizirajući sve ceste i oznake zajedno, oko 44 % očitavanja tijekom dnevnih uvjeta klasificirano je kao razina 3, 40 % očitavanja kalsificirano je kao razina 0, oko 13 % kao razina 2, dok je 2,2 % kao razina 1. Navedeni prosjeci su se u određenoj mjeri mijenjali tijekom noćnih

uvjeta (grafikon 5.). Naime, prosječan udio očitavanja razine 3 smanjio se za 8 % tijekom dnevnih uvjeta u usporedbi s noćnim uvjetima. Slično je i s razinom 2 gdje je prisutno smanjenje za gotovo 7 %, dok se udio razine 1 blago smanjio (1 %). Tijekom dnevnih uvjeta udio očitavanja razine 0 povećao se za 14 % u odnosu na noćne uvjete.



Grafikon 5. Udio ukupnih kvaliteta očitavanja tijekom dana i noći te njihove razlike (dan – noć)

Kako bi se ispitala statistička značajnost razlika između kvalitete detekcije oznaka na kolniku između uvjeta vidljivosti (dan/noć), korišten je Wilcoxonov test rangiranja. U tablici 3. vidljivi su rezultati navedenog testa zasebno za središnje i rubne linije na sve četiri dionice. Iz tablice se može zaključiti da za sve četiri dionice postoji statistički značajna razlika između dnevnog i noćnog očitavanja ($p < 0,05$). Ukupan broj uzoraka središnje linije, koji imaju bolju kvalitetu detekcije tijekom dana, zabilježen je na tri od četiri dionice i manji je u odnosu na noćne uvjete. Nadalje, na trećoj dionici ukupan broj uzoraka koji imaju bolju kvalitetu tijekom dana veći je u odnosu na noćne uvjete.

Tablica 3. Rezultati Wilcoxonovog testa za središnje i rubne oznake na testnim dionicama

Dionica	Usporedba	Središnja oznaka			Rubna oznaka		
		N	Z	Statistička značajnost	N	Z	Statistička značajnost
1	dan < noć	59,899	-14,62	< 0,05	15,296	-20,53	< 0,05
	dan > noć	40,474			16,304		
	dan = noć	98,369			34,646		
2	dan < noć	47,808	-261,61	< 0,05	43,594	-261,61	< 0,05
	dan > noć	45,717			7,134		
	dan = noć	97,415			15,221		
3	dan < noć	38,225	-14,26	< 0,05	49,825	-76,95	< 0,05
	dan > noć	40,965			36,401		
	dan = noć	157,066			51,933		
4	dan < noć	47,808	-8,29	< 0,05	-	-	-
	dan > noć	45,717			-		
	dan = noć	97,415			-		

Prosječni domet vidljivosti središnje linije za vrijeme noćnih uvjeta iznosio je $34,07 \pm 22,23$ m. S druge je strane domet vidljivosti povećan u dnevnim uvjetima i iznosio je u prosjeku $39,42 \pm 25,36$ m. Vrijednosti dometa vidljivosti rubne linije manje su nego kod središnje linije. Za dnevne uvjete prosjek iznosi $17,69 \pm 24,38$ m, dok za noćne uvjete iznosi $17,01 \pm 20,48$ m. Apsolutni prosjeci dometa vidljivosti za svaku prometnicu, liniju i uvjete vidljivosti prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Apsolutni prosjeci dometa vidljivosti za svaku prometnicu, crte i uvjete vidljivosti

Cesta 1				
Linija/uvjeti	Srednja vrijednost	St.dev.	95 % interval pouzdanosti	
			Donja granica	Gornja granica
Središnja – noć	33,16	21,89	33,07	33,26
Rubna – noć	15,67	20,54	15,58	15,76
Središnja – dan	38,93	24,66	38,82	39,04
Rubna – dan	21,43	27,25	21,31	21,55
Cesta 2				
Središnja – noć	33,83	20,58	33,72	33,94
Rubna – noć	9,58	15,72	9,49	9,66
Središnja – dan	41,57	24,64	41,44	41,71
Rubna – dan	6,09	16,77	6,00	6,18
Cesta 3				
Središnja – noć	42,68	22,82	42,58	42,77
Rubna – noć	25,79	25,19	25,69	25,89
Središnja – dan	46,43	24,17	46,34	46,53
Rubna – dan	25,53	29,11	25,42	25,65
Cesta 4				
Središnja – noć	26,60	23,64	26,49	26,71
Središnja – dan	30,72	27,96	30,59	30,84

Nadalje, izračunate su razlike i standardna devijacija dometa vidljivosti za slučajeve kada je dnevna kvaliteta očitavanja veća u odnosu na noćnu i obrnuto. Razlika u dometu vidljivosti kada je dnevna kvaliteta očitavanja veća od noćne za središnju liniju prosječno iznosi oko 30 m sa standardnom devijacijom od otprilike 21 m. S druge strane, u slučaju kada je kvaliteta očitavanja tijekom noći bila veća, zabilježen je blagi pad dometa vidljivosti i standardne devijacije. Slični podaci dobiveni su i za rubnu crtu što je prikazano u tablici 5.

Tablica 5. Apsolutni prosjeci dometa vidljivosti za svaku prometnicu, crte i uvjete vidljivosti

Cesta	Središnja linija				Rubna linija			
	Dan > Noć		Dan < Noć		Dan > Noć		Dan < Noć	
	Prosječna razlika (m)	St. dev.	Prosječna razlika (m)	St. dev.	Prosječna razlika (m)	St. dev.	Prosječna razlika (m)	St. dev.
1	26,43	18,36	22,97	17,30	37,40	21,03	21,31	17,51
2	31,39	25,90	26,26	24,00	38,80	20,93	29,30	15,12
3	27,68	21,03	24,95	18,03	40,71	25,31	32,74	22,47
4	30,67	19,77	30,00	18,39	-	-	-	-
Prosječno	29,04	21,26	26,04	19,43	38,97	22,42	27,78	18,36

T-test uparenih uzoraka korišten je kako bi se testirala statistička značajnost razlike između noćnih i dnevnih uvjeta na svakoj analiziranoj cesti za svaku liniju. Kreirano je ukupno sedam parova kao što je vidljivo u tablici 6. Rezultati t-testa ukazuju na statistički značajnu razliku u dometu vidljivosti svih utvrđenih parova ($p < 0,005$). Pojednostavljeno, domet vidljivosti Mobileye kamere razlikuje se za sve testne slučajeve između dnevnih i noćnih uvjeta.

Tablica 6. Rezultati t-testa uparenih uzoraka

Cesta/Par		Razlike					t	p
		Srednja vrijednost	St. dev.	Srednja vrijednost pogreške	95% interval pouzdanosti			
					Donja	Gornja		
1	središnja – noć / središnja – dan	-5,76	29,51	0,06	-5,89	-5,63	-87,09	< 0,05
2	rubna – noć / rubna – dan	-5,76	27,11	0,06	-5,88	-5,64	-94,85	< 0,05
3	središnja – noć / središnja – dan	-7,74	30,22	0,08	-7,90	-7,57	-93,02	< 0,05
4	rubna – noć / rubna – dan	3,49	22,76	0,06	3,36	3,61	55,67	< 0,05
5	središnja – noć / središnja – dan	-3,75	32,58	0,06	-3,88	-3,62	-56,04	< 0,05
6	rubna – noć / rubna – dan	0,25	35,78	0,07	0,11	0,40	3,49	< 0,05
7	središnja – noć / središnja – dan	-4,12	32,50	0,07	-4,26	-3,97	-55,39	< 0,05

2. test *Utjecaj retrorefleksije (noćne vidljivosti) oznaka na kolniku na sustav detekcije oznaka na kolniku u noćnim uvjetima*

Rezultati ovog testa podijeljeni su u dva dijela: a) deskriptivna statistika i b) korelacijska analiza.

- a) Deskriptivna statistika – vrijednosti retrorefleksije, kvaliteta detekcije oznaka na kolniku i domet vidljivosti

Prosječna vrijednost retrorefleksije (R_L) varirala je između 0 i 661 mcd/lx/m² sa srednjom vrijednošću od 197,50 mcd/lx/m². Kolmogorov-Smirnov test upućivao je na značajno statističko odstupanje vrijednosti retrorefleksije od normalne raspodjele ($p < 0,001$). Kao dodatne mjere središnje tendencije i varijabilnosti korišteni su srednji i interkvartilni domet. Srednja vrijednost retrorefleksije iznosila je 201 mcd/lx/m² s interkvartilnim rasponom od 109 do 290 mcd/lx/m².

Najveći broj uzoraka (28,4 %) imalo je vrijednost retrorefleksije 200 – 300 mcd/lx/m², zatim 27,0 % uzoraka 100 – 200 mcd/lx/m², dok je gotovo isti broj uzoraka imao retrorefleksiju

ispod 100 mcd/lx/m² (22,6 %) ili više od 300 mcd/lx/m² (22,0 %). Nadalje, najvišu kvalitetu detekcije (razina 3) imalo je 63,1 % mjerenja, 20 % je imalo razinu 2, dok su razine 1 i 0 imale manje od 10 %.

Prosječni domet vidljivosti na kojem je Mobileye uspio detektirati oznake na kolniku kretao se od 0 do 74,89 m, a njegova srednja vrijednost bila je 37,79 m. I u ovom slučaju promatrana varijabla nije normalno distribuirana što je dokazano Kolmogorov-Smirnovljevim testom ($p < 0,001$). Medijan vrijednosti prosječnog vidnog polja bio je 40,28 m, a interkvartilni raspon od 25,45 do 52,0 m. Navedeni podaci prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Sažetak deskriptivne/opisne statistike

			Daljina pogleda (m)	
Prosječna R_L (mcd/lx/m ²)	n	(%)	Medijan	Interkvartilni raspon
< 100 mcd/lx/m ²	486	(22,6)	22,41	0,96 – 38,14
$\geq 100 \leq 200$ mcd/lx/m ²	581	(27,0)	44,47	31,68 – 54,97
$> 200 \leq 300$ mcd/lx/m ²	610	(28,4)	42,68	29,00 – 54,67
≥ 300 mcd/lx/m ²	473	(22,0)	42,94	32,69 – 52,73
Prosječna kvaliteta detekcije				
0	168	(7,8)	0,0	0,0 – 122,0
1	198	(9,2)	0,0	0,0 – 122,0
2	428	(19,9)	143,5	81,0 – 238,0
3	1356	(63,1)	243	172,0 – 314,5

b) Korelacijska analiza

Kao mjera povezanosti prosječne retrorefleksije i prosječnog dometa vidljivosti, kao i zbog činjenice da je prosječna kvaliteta detekcije kategorička varijabla, korišten je Spearmanov koeficijent korelacije. Prosječna kvaliteta detekcije i prosječni domet vidljivosti pozitivno su korelirani s prosječnom retrorefleksijom, ali je prosječna kvaliteta detekcije jače povezana s prosječnom retrorefleksijom u odnosu na prosječni domet vidljivosti (Tablica 8.).

Tablica 8. Spearmanovi koeficijenti korelacije između ispitivanih varijabli

	1	2	3
1. Prosječna R_L	-		
2. Prosječna kvaliteta detekcije	0,53	-	
3. Prosječna daljina pogleda	0,29	0,52	-
Svi su koeficijenti značajni na razini $p < 0,001$			

Kruskal-Wallisov test ukazao je da postoji statistički značajna razlika u prosječnom dometu vidljivosti između kategorija prosječne retrorefleksije R_L ($p < 0,001$). Iz navedenog razloga kategorije su dodatno uspoređene pomoću serije Mann-Whitneyevih U testova s Bonferrenijevom korekcijom. Prosječni domet vidljivosti za prvu kategoriju retrorefleksije u rasponu od 0 do 99 mcd/lx/m² bio je značajno niži ($p < 0,001$) u odnosu na sve ostale kategorije retrorefleksije (100 - 199 mcd/lx/m², 200 - 299 mcd/lx/m² i > 300 mcd/lx/m²). Druga kategorija retrorefleksije (u rasponu od 100 do 199 mcd/lx/m²) nije se značajno razlikovala u prosječnom dometu vidljivosti u odnosu na treću kategoriju u rasponu od 200 do 300 mcd/lx/m² ($p = 0,594$) niti u usporedbi s četvrtom kategorijom od 300 mcd/lx/m² i višom retrorefletivnosti ($p > 0,999$). Statistički značajna razlika između treće i četvrte kategorije retrorefleksije također nije utvrđena ($p > 0,999$). Sažetak prethodno opisanih rezultata prikazan je u tablici 9.

Tablica 9. Sažetak razlike u prosječnom rasponu pogleda između kategorija prosječne retrorefleksije

Kategorije retrorefleksije (mcd/lx/m ²)	1	2	3
1 (< 100 mcd/lx/m ²)	-		
2 ($\geq 100 \leq 200$ mcd/lx/m ²)	$p < 0,001$	-	
3 ($> 200 \leq 300$ mcd/lx/m ²)	$p < 0,001$	$p = 0,594$	-
4 (≥ 300 mcd/lx/m ²)	$p < 0,001$	$p > 0,999$	$p > 0,999$

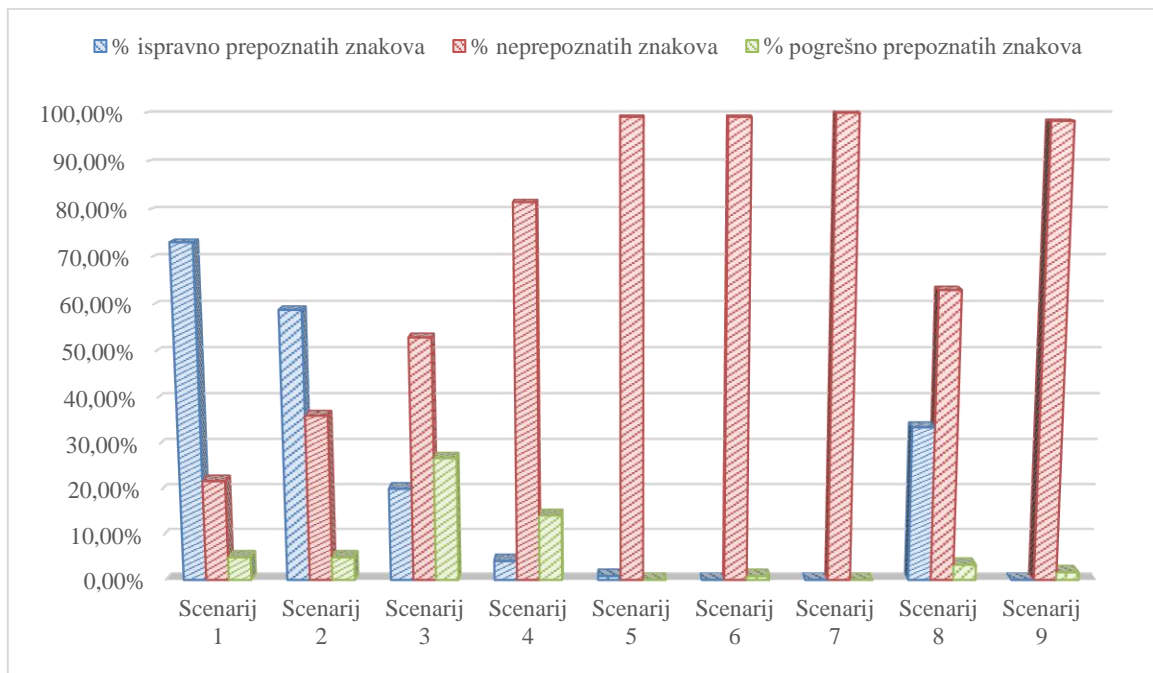
Analizirajući razlike u prosječnoj retrorefleksiji između kategorija kvalitete detekcije oznaka, rezultati Kruskal-Wallisova testa pokazuju da postoji statistička značajna razlika ($p < 0,001$). Za detaljniju analizu, kao i u prethodnom slučaju, korišten je Mann-Whitney U test s Bonferonijevom korekcijom. U slučajevima kada je kvaliteta detekcije bila 2 (srednja pouzdanost otkrivanja, $p < 0,001$) ili 3 (visoka pouzdanost otkrivanja, $p < 0,001$), prosječna retrorefleksija bila je znatno viša u odnosu na slučaj kada je kvaliteta detekcije bila 0 (ništa nije očitano) ili 1 (niska pouzdanost otkrivanja). Nadalje, prosječna retrorefleksija u slučajevima najviše kvalitete detekcije (razina 3) bila je značajno veća u odnosu na slučajeve kada je kvaliteta detekcije bila 2 ($p < 0,001$).

6.2. Rezultat povezani sa sustavom prepoznavanja prometnih znakova

Tijekom ovog istraživanja ukupno je bilo moguće 1 071 prepoznavanje. U istraživanju su sudjelovala 17 vozila, od kojih je svaki automobil odvezio 9 scenarija (7 znakova po scenariju). U 21,20 % slučajeva znakovi su ispravno prepoznati, u 72,46 % slučajeva znakovi nisu prepoznati, dok su u 6,35 % vozila prepoznala znakove pogrešno. Naravno, navedeni

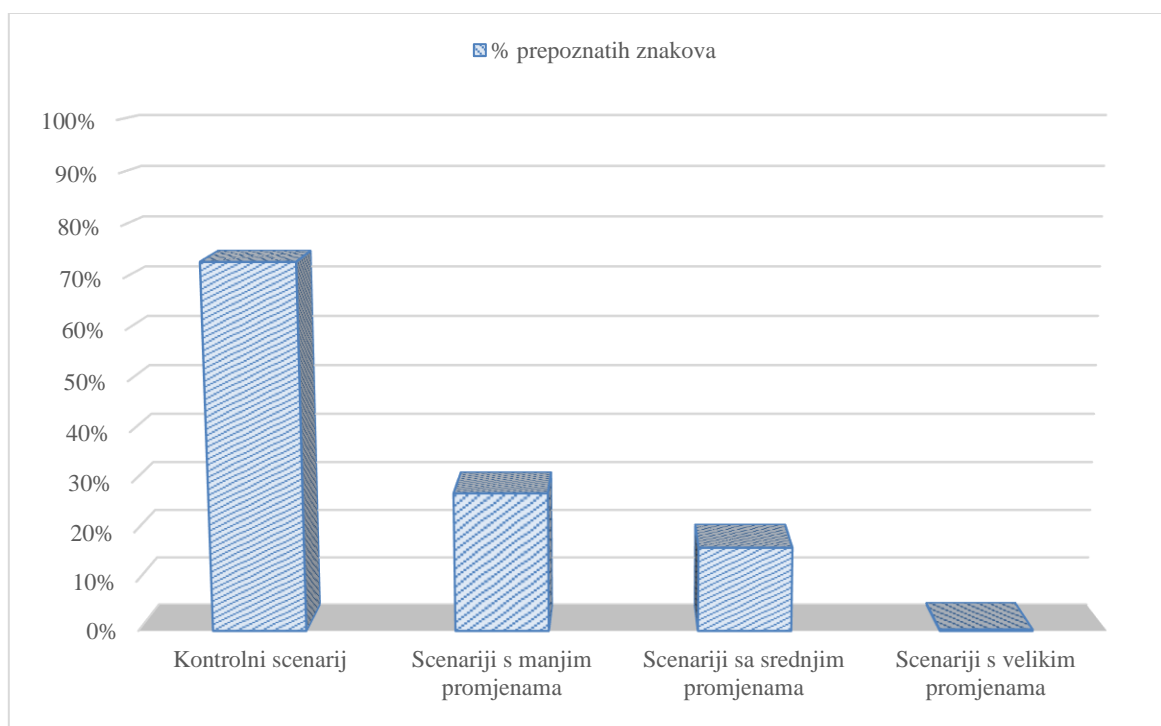
podaci variraju od scenarija do scenarija. Najviša razina ispravno prepoznatih znakova (73,11 %) očekivano je zabilježena u kontrolnom scenariju. Nadalje, u istom scenariju 21,58 % znakova nije prepoznato (uglavnom zabrana pretjecanja, ali i u nekim slučajevima znakovi ograničenja brzine), dok je 5,04 % znakova pogrešno prepoznato (na primjer 90 km/h prepoznato je kao 30 km/h). Vrsta znakova koje TSR sustav prepoznaje i prikazuje vozaču varira između marki automobila. U drugom scenariju (crni obrub znaka) broj neprepoznatih znakova povećao se na 36,13 %, a broj pogrešno prepoznatih znakova ostao je isti kao i u prvom scenariju (5,04 %).

U scenarijima 3 i 4 (manje promjene na znakovima) zabilježeno je znatno smanjenje prepoznatih znakova. Naime, postotak ispravno prepoznatih znakova pao je na 20,17 %. Zabilježen je porast pogrešno prepoznatih znakova, 26,89 % u scenariju 3 i 14,29 % u scenariju 4. U scenarijima 5, 6 i 7 (napola prekriveni znakovi crnim papirom), kao i u scenariju 9 (znakovi s grafitima), postotak neprepoznatih znakova bio je između 98 – 100 %. U scenariju 8, 33,61 % znakova je ispravno prepoznato, 63,03 % znakova nije prepoznato, dok je 3,36 % znakova pogrešno prepoznato (uglavnom znakovi ograničenja brzine). Navedeni podaci prikazani su na grafikonu 6.



Grafikon 6. Postoci ispravno prepoznatih, neprepoznatih i pogrešno prepoznatih znakova po svakom scenariju

Kao što je prethodno navedeno, senariji su grupirani u četiri kategorije: kontrola (scenarij 1), manje promjene (scenariji 2, 3 i 4), srednje promjene (scenariji 8 i 9) i velike promjene (scenariji 5, 6 i 7). Na taj način će se analizirati kako različita razina promjena na znakovima utječe na točnost prepoznavanja. Za svako vozilo i grupu izračunata je srednja vrijednost. Smanjenje ispravno prepoznatih znakova između kontroliranih uvjeta i manjih, srednjih i velikih promjena iznosi 62 %, 77 % odnosno 99 % (grafikon 7.)



Grafikon 7. Postoci prepoznatih znakova po pojedinoj kategoriji

Iako su razlike između svake kategorije evidentne, ponovljena mjera ANOVA s Bonferronijevom prilagodbom korištena je za ispitivanje razlika između kontrolnog uvjeta i svake skupine. Rezultati ANOVA analize potvrđuju statističku razliku ($p < 0,05$) između kontrolnog scenarija i svake kategorije koja predstavlja različite razine grafičkih promjena na znakovima (tablica 10.).

Tablica 10. Rezultati ANOVA analize

(I)	(J)	Prosječna razlika (I-J)	Std. pogreška	p	95% interval pouzdanosti	
					Donja granica	Gornja granica
Control	Male promjene	0.454	0.051	0.000	0.301	0.607
	Srednje promjene	0.563	0.065	0.000	0.368	0.758
	Velike promjene	0.728	0.059	0.000	0.550	0.906

Nadalje, pomoću Cochranovim Q testom ispitana je razlika između prepoznavanja prometnih znakova svakog vozila prema scenarijima. Cochranov Q test nije proveden na scenarijima 6, 7 i 9, budući da navedeni nakon grupiranja nisu imali varijacije u vrijednostima (nema vrijednosti za grupu ispravno prepoznatih znakova). Statistička razlika ($p < 0,05$) prilikom prepoznavanja prometnih znakova između testnih vozila zabilježena je za scenarije 1, 2, 3 i 8. Za scenarije 4 i 5 nije utvrđena statistička razlika ($p > 0,05$), a navedeno je prikazano u tablici 11.

Tablica 11. Rezultati Cochranova Q testa – značajne razlike u prepoznavanju prometnih znakova između testiranih vozila prema analiziranim scenarijima

Scenarij	Statistička značajnost
1	0.002
2	0.000
3	0.041
4	0.699
5	0.453
8	0.000

Osnovni, neobrađeni rezultati istraživanja vidljivi su u tablici 12.

Tablica 12. Rezultati za svako vozilo prema svakom scenariju

S	TS	Vozila																
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
	3	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
	5	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
	6	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1
	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	0	-1	1	1
2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
	3	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
	5	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	-1	-1	-1	1	1
	6	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
	7	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	-1	-1	-1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	3	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	-1
	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
	5	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	-1
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	-1	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	1	0	-1	0	1	-1

4	1	-1	0	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	1	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7. ZAKLJUČAK

Promet predstavlja važan segment u životu svakog čovjeka, ali važno je naglasiti da predstavlja jedan od glavnih uzročnika smrti u svijetu. Čovjek se smatra čimbenikom koji najviše utječe na nastanak prometne nesreće, dok vozilo, cestovna infrastruktura i njena okolina također utječu ali u manjoj mjeri. Iz tog razloga, u posljednjih desetak godina, značajan napor je uložan za razvoj sigurnosnih sustava unutar vozila. Takvi sustavi nazivaju se napredni sustavi pomoći vozaču. Oni upozoravaju vozača na opasnost ili preuzimaju kontrolu nad vozilom kako bi se izbjegla prometna nesreća. Osnovu navedenih sustava predstavljaju senzori (kamere, radari, lidari i dr.) koji prikupljaju podatke o fizičkim parametrima povezanim s automobilom, okruženjem i vozačem.

Jedan od osnovnih sustava je sustav za održavanje vozila unutar promene trake. Analizom sigurnosti cestovnog prometa utvrđeno je da su upravo prometne nesreće uzrokovane napuštanjem prometne trake jedne od najčešćih i najsmrtonosnijih. Prvenstveno iz tog razloga sustav koji upozorava vozača da napušta prometnu traku ima veliki potencijal za smanjenje broja prometnih nesreća, a time i ljudskih žrtava. Kako bi sustav radio ispravno, potrebna je kvalitetna prometna signalizacija i infrastruktura, što dokazuju i rezultati ovog rada. Rezultati istraživanja ukazuju na postojanje statistički značajne razlike u kvaliteti detekcije oznaka na kolniku i dometa vidljivosti između dnevnih i noćnih uvjeta. Utvrđeno je da detekcija oznaka na kolniku „machine-vision“ sustavom kvalitetnija je u noćnim u odnosu na dnevne uvjete. Nadalje, s povećanjem retrorefleksije (noćne vidljivosti) oznaka na kolniku dolazi do njihove kvalitetnije detekcije „machine-vision“ sustavom u noćnim uvjetima. Također, domet vidljivosti razlikovao se ovisno o kvaliteti vidljivosti oznaka na kolniku (starosti oznaka).

Drugi sustav koji je testiran je sustav prepoznavanja prometnih znakova. Glavni cilj bio je ispitati postoje li razlike između točnosti otkrivanja prometnih znakova TRS sustavima na vozilima na tržištu, te u kojoj mjeri različite „grafičke promjene“ utječu na njihovu točnost. Testirano je 14 marki automobila (17 vozila) i utvrđeno je da postoje razlike u detekciji između marka automobila, pa čak i između iste marke. Stoga, neki od automobila prikazuju samo znakove ograničenja brzine, neki osim znakova ograničenja brzine prikazuju zabranu pretjecanja, dok neki, osim navedenog, prikazuju glavne znakove opasnosti (opasan zavoj, pješачki prijelaz i sl.). Nadalje, grafičke promjene značajno su utjecale na točnost TRS sustava u svim vozilima u usoredbi sa detekcijom znakova bez grafičkih promjena (u rasponu od 62 % do 99 %). Važno je napomenuti da čak ni u kontrolnim uvjetima TRS sustavi nisu imali 100 %

prepoznavanja, već su imali oko 5 % pogrešnih prepoznavanja. To je prije svega posljedica razlika TRS sustava između marka automobila. Štoviše, između svake kategorije grafičkih promjena i kontrolnog scenarija postojala je statistički značajna razlika u broju ispravno prepoznatih znakova. Rezultati ukazuju da male promjene dizajna znaka ili boje mogu drastično utjecati na detekciju i točnost prepoznatih znakova. Iz tog razloga bitno je pravilno održavanje prometnih znakova i njihove okoline.

Važnost cestovne signalizacije u današnje vrijeme je značajna u smislu obavještanja vozača o situacijama na cesti. Iz tog razloga signalizacija mora biti pravovremeno vidljiva i prepoznatljiva kako bi osigurala svoju funkciju. Također, kvaliteta signalizacije bitna i za ADAS sustave, što je i ranije navedeno u radu. Nije dovoljno postavljanje kvalitetne prometne signalizacije, već je bitno i njeno održavanje (čišćenje prometnih znakova, čišćenje kolnika, zamjena dotrajalih znakova i sl.).

LITERATURA

- [1] Svjetska zdravstvena organizacija, Cestovne ozljede. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (10.6.2021.)
- [2] European Commission, Road safety: Europe's roads are getting safer but progress remains too slow, Brussels, 11.6.2020. Dostupno na: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1003 (20.5.2021.)
- [3] European Road Safety Observatory, Road safety targets, Monitoring report, studeni 2020. Dostupno na: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/monitoring_report_november_2020.pdf (20.6.2021.)
- [4] Lu, M.; Wevers, K.; van der Heijden, R. Technical feasibility of advanced driver assistance systems (ADAS) for road traffic safety. *Transportation Planning and Technology* 2005, 28(3), 167–187. Dostupno na: <https://doi.org/10.1080/03081060500120282> (21.6.2021.)
- [5] Dörterler, M.; Bay Ömer, F. Neural network based vehicular location prediction model for cooperative active safety systems. *Promet - Traffic&Transportation*, 2018, 30(2), 205-1. Dostupno na: <https://doi.org/10.7307/ptt.v30i2.2500> (21.6.2021.)
- [6] Pašagić S.: Vizualne informacije u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2004.
- [7] URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/signalse.pdf> (15.6.2021.)
- [8] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama NN 92/2019
- [9] European Commission, Public support measures for connected and automated driving, Brussel, 2017., Dostupno na: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0f3e5c98-66ad-11e7-b2f2-01aa75ed71a1/language-en> (3.5.2021.)
- [10] URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Advanced-Driver-Assistance-Systems%3A-A-Path-Toward-Kukkala-Tunnell/9effdc53bd2c6efb1fce95d87e1ca18ec0765c2c> (29.3.2021.)
- [11] URL: <https://autogaraza.hr/autopojmovnik/inteligentni-prilagodljivi-adaptivni-tempomat/> (6.7.2021.)
- [12] Abdulbaqi Jumaa B., Mousa Abdulhassan A., Mousa Abdulhass A. (2019.) Advanced Driver Assistance System (ADAS): A Review of Systems and Technologies, *International*

Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) vol 8, no. 6, 2278 - 1323

[13] URL:<http://www.stikluserviss.lv/wp-content/uploads/2016/12/LANE-ASSIST.jpg> (2.8.2021.)

[14] URL:<https://www.mercedes-benz.ba/passengercars/mercedes-benz-cars/models/e-class/e-class-saloon/explore.pi.html/mercedes-benz-cars/models/e-class/e-class-saloon/explore/intelligent-technologies/traffic-sign-assistance> (8.7.2021.)

[15] Ziebinski A., Cupek R., Erdogan H., and Waechter S. (2016.), A Survey of ADAS Technologies for the Future Perspective of Sensor Fusion, 2(9876) 135–146 DOI: 10.1007/978-3-319-45246-3_13

[16] URL: <http://dealer2hr.test.sistemi.hr/Videozapisi/Tehnika/Nadzor-mrtvog-kuta-radarski-senzori-za-detekciju-objekata> (1.7.2021.)

[17] Abdulbaqi Jumaa B., Mousa Abdulhassan A., Mousa Abdulhass A. (2019.) Advanced Driver Assistance System (ADAS): A Review of Systems and Technologies, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) vol 8, no. 6, 2278 - 1323

[18] URL: <https://www.torque.com.sg/features/how-does-automatic-emergency-braking-work/> (20.6.2021.)

[19] URL: <https://hyundai.ba/modeli/i30/sigurnost.php> (22.6.2021.)

[20] Dutch Safety Board. Who is in control? Road safety and automation in road traffic, Hague (studeni, 2019.). Dostupno na: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2020/wp29grva/GRVA-05-48e.pdf>

[21] Europska Komisija, Na putu prema automatiziranoj mobilnosti: strategija EU-a za mobilnost budućnosti, Bruxelles, 17.5.2018. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0283&from=es>

[22] URL: <https://www.europarl.europa.eu/meps/en/map.html>. (15.7.2021.).

[23] Analiza kritičnih čimbenika nastanka prometnih nesreća, Zavod za Prometno Planiranje, Fakultet prometnih znanosti, svibanj 2020.

[24] URL: <https://www.mobileye.com/our-technology/> (15.6.2021.)

- [25] URL:<https://iaasiaonline.com/mobileye-takes-another-step-towards-autonomous-vehicles-with-orange-business-services-2/> (16.6.2021.)
- [26] URL:<https://www.manualslib.com/manual/1840676/Mobileye-6-Series.html?page=6#manual> (15.6.2021.)
- [27] Ščukanec A., Babić D.: Metode mjerenja retrorefleksije prometnih znakova i oznaka na kolniku, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2013.
- [28] URL:<https://www.statisticshowto.com/wilcoxon-signed-rank-test/> (15.6.2021.)
- [29] URL:https://ldap.zvu.hr/~oliverap/MetodeIstrazivanjaFT/9_t-test.pdf (19.6.2021.)
- [30] URL:<http://struna.ihjj.hr/naziv/kolmogorov-smirnovljev-test/30938/> (10.6.2021.)
- [31] Vulić, M.: Upotreba koeficijenta korelacije u procjeni podrijetla nitrata na području zagrebačkog vodonosnika, 2015., Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- [32] Petz B., Kolesarić V., Ivanec D.: Osnovne statističke metode za nematematičate, 2012.
- [33] URL: <https://bs.warbletoncouncil.org/prueba-u-de-mann-whitney-14919> (29.6.2021.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Princip rada naprednih sustava pomoći vozaču	6
Slika 2. Sustav za zadržavanje prometne trake	8
Slika 3. Sustav za prepoznavanje prometnih znakova	8
Slika 4. Sustav za nadzor mrtvog kuta	9
Slika 5. Sustav automatskog kočenja	10
Slika 6. Sustav kontrole na sudar sprijeda.....	10
Slika 7. Stupnjevi automatizacije	11
Slika 8. Mobileye kamera (lijevo) i testno vozilo Sveučilišta u Grazu (desno).....	15
Slika 9. Mjerno vozilo s postavljenim uređajem ZDR 6020.....	17
Slika 10. Lokacije postavljenih prometnih znakova	21
Slika 11. Prikaz znakova korištenih u pojedinom scenariju.....	22

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehničke specifikacije Mobileye kamere.....	16
Tablica 2. Karakteristike testnih sekcija.....	17
Tablica 3. Rezultati Wilcoxonovog testa za središnje i rubne oznake na testnim dionicama..	27
Tablica 4. Apsolutni prosjeci dometa vidljivosti za svaku prometnicu, crte i uvjete vidljivosti	28
Tablica 5. Apsolutni prosjeci dometa vidljivosti za svaku prometnicu, crte i uvjete vidljivosti	28
Tablica 6. Rezultati t-testa uparenih uzoraka	29
Tablica 7. Sažetak deskriptivne/opisne statistike	30
Tablica 8. Spearmanovi koeficijenti korelacije između ispitivanih varijabli.....	30
Tablica 9. Sažetak razlike u prosječnom rasponu pogleda između kategorija prosječne retrorefleksije	31
Tablica 10. Rezultati ANOVA analize.....	33
Tablica 11. Rezultati Cochranova Q testa – značajne razlike u prepoznavanju prometnih znakova između testiranih vozila prema analiziranim scenarijima.....	34
Tablica 12. Rezultati za svako vozilo prema svakom scenariju.....	34

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prikaz broja prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama s obzirom na stanje prometne signalizacije.....	13
Grafikon 2. Prikaz broja prometnih nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama s obzirom na stanje kolnika ovisno o meteorološkim uvjetima	14
Grafikon 3. Usporedba očitavanja Mobileye sustava (razina kvalitete) između mjerenja kvalitete noću i danju za središnju oznaku	25
Grafikon 4. Usporedba očitavanja Mobileye sustava (razina kvalitete) između mjerenja kvalitete noću i danju za središnju i rubnu oznaku	25
Grafikon 5. Udio ukupnih kvaliteta očitavanja tijekom dana i noći te njihove razlike (dan – noć)	26
Grafikon 6. Postoci ispravno prepoznatih, neprepoznatih i pogrešno prepoznatih znakova po svakom scenariju	32
Grafikon 7. Postoci prepoznatih znakova po pojedinoj kategoriji	33

POPIS KRATICA

ADAS	Advanced Driver Assistance System – napredni sustavi pomoći vozaču
ACC	Adaptive Cruise Control – prilagodljiv tempomat
LKS	Lane Keeping System – sustav za održavanje vozila u prometnoj traci
LKA	Lane Keeping Assistance – pomoć za održavanje vozila u prometnoj traci
LCA	Lane Change Assistant – sustav za pomoć pri promjeni prometne trake
LDW	Lane Departure Warning – upozorenje za napuštanje prometne trake
TRS	Traffic Sign Recognition – sustav prepoznavanja promjenih znakova
BSD	Blind Spot Detection – sustav za nadzor mrtvog kuta
BSW	Blind Spot Warning – sustav upozorenja za mrtvi kut
AEB	Automatic Emergency Brake – sustav automatskog kočenja
FCW	Forward Collision Warning – sustav kontrole na sudar sprijeda
SAE	Society of Automotive Engineers – Međunarodno udruženje automobilskih inženjera



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj dr. visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog pod naslovom **Utjecaj kvalitete prometne signalizacije na rad naprednih sustava pomoći vozaču**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

Anamarija Jembrek

U Zagrebu, 10.9.2021

(potpis)

ugoj

rada

va

skom
