

Utjecaj vremenskih uvjeta na kvalitetu detekcije prometne signalizacije primjenom ADAS sustava u vozilu

Franković, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:119:762695>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet Prometnih Znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ VREMENSKIH UVJETA NA KVALITETU
DETEKCIJE PROMETNE SIGNALIZACIJE PRIMJENOM ADAS
SUSTAVA U VOZILU**

**INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE
DETECTION QUALITY OF TRAFFIC SIGNALING USING ADAS
SYSTEMS IN VEHICLE**

Mentor: doc.dr.sc. Dario Babić

Studentica: Lucija Franković

JMBAG: 0135247485

Zagreb, rujan 2022.

Zagreb, 5. svibnja 2022.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6611

Pristupnik: **Lucija Franković (0135247485)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj vremenskih uvjeta na kvalitetu detekcije prometne signalizacije primjenom ADAS sustava u vozilu**

Opis zadatka:

Prometna signalizacija je važan dio cestovne infrastrukture, a njena glavna zadaća je prijenos informacija sudionicima u prometu. Osim ljudskim sudionicima, zbog sve većeg razvoja tehnologije, prometna signalizacija pruža informacije i naprednim sustavima pomoći vozaču (ADAS sustavi). ADAS sustavi za prikupljanje informacija koriste senzore, kamere, radare i lidare, a na čiju kvalitetu detekcije utječe niz faktora od kojih su jedan i vremenski uvjeti. Kiša, magla, snijeg, sunce i ostali vremenski uvjeti mogu negativno utjecati na pravilan rad određenih ADAS sustava, stoga je zadatak diplomskog rada ispitati u kojoj mjeri takvi vremenski uvjeti utječu na detekciju prometnih znakova i oznaka na kolniku. U sklopu rada provest će se terenska ispitivanja na temelju kojih će se dati preporuke za unaprjeđenje vidljivosti prometne signalizacije u navedenim uvjetima.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Dario Babić

UTJECAJ VREMENSKIH UVJETA NA KVALITETU DETEKCIJE PROMETNE SIGNALIZACIJE PRIMJENOM ADAS SUSTAVA U VOZILU

SAŽETAK

Prometna signalizacija predstavlja važan infrastrukturni element u cestovnom prometu, a glavna joj je zadaća prenositi informacije sudionicima u prometu. Danas, osim ljudskim sudionicima u prometu, prometna signalizacija, naročito oznake na kolniku i prometni znakovi, informacije prenose i naprednim sustavima pomoći vozaču (engl. *Advanced Driver Assistance Systems* – ADAS). Svrha navedenih sustava je da prikupljajući informacije iz okoline pomažu vozaču tijekom vožnje, te na taj način doprinose povećanju sigurnosti cestovnog prometa. Za prikupljanje informacija i percepciju okoline, ADAS sustavi koriste različite senzore poput kamera, radara te lidara. Na kvalitetu detekcije navedenih senzora utječe niz faktora, a jedni od njih su i vremenski uvjeti. Naime, kiša, magla, snijeg, sunce i ostali vremenski uvjeti mogu utjecati na kvalitetu i točnost prikupljanja informacija iz okoline, a time i na detekciju oznaka na kolniku i prometnih znakova što u konačnici može negativno utjecati na pravilan rad određenih ADAS sustava. Slijedno tome, cilj ovog diplomskog rada je prikazati kako i u kojoj mjeri različiti vremenski uvjeti utječu na detekciju prometne signalizacije ADAS sustavima u vozilima. Senzori kao što su kamere pokazuju loše rezultate pri jakom bliještanju, zalasku sunca ili sumraku te bolje prepoznaju oznake na kolniku povećanjem kontrasta i retrorefleksije. U uvjetima kiše ili magle se lidarima i radarima sposobnost detekcije smanjuje zbog slabljenja intenziteta primljenog signala.

KLJUČNE RIJEČI: ADAS sustavi, prometna signalizacija, senzori u vozilima, vremenski uvjeti

SUMMARY

Traffic control devices are important road infrastructural elements, and their main task is to transfer information to road users. Today, except to humans, traffic control devices, especially road markings and road signs, convey information to Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). The purpose of those systems is to collect information from the environment and based on that information assist the driver, thus contributing to increase of road safety. To collect information and perceive the environment, ADAS systems use various sensors such as cameras, radars and lidars. The detection quality of the mentioned sensors is affected by a number of factors, one of which are weather conditions. Namely, rain, fog, snow, sun and other weather conditions can affect the quality and accuracy of gathering information from the environment, and with that the detection of road markings and traffic signs, which can

ultimately negatively affect the proper operation of certain ADAS systems. In addition, the goal of this master thesis is to show how and in what extent different weather conditions affect detection of traffic signaling. Sensors such as cameras have significantly lower detection rate when there is high sun glow, sunset or dawn and perform better when there is higher contrast and retroreflection. With radars and lidars rate of detection is lower in conditions of rain and fog due to lower intensity of received signal.

KEY WORDS: ADAS system, traffic control devices, vehicle sensors, weather conditions

Rad je izrađen u sklopu projekta pod nazivom „Određivanje minimalnih razina kvalitete prometne signalizacije za potrebe autonomnih i poluautonomnih vozila“ financiranog od strane Hrvatskih cesta d.o.o., voditelja izv. prof. dr. sc. Darka Babića.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PROMETNA SIGNALIZACIJA I OTEŽANI UVJETI VIDLJIVOSTI.....	3
2.1. Prometna signalizacija.....	3
2.2. Otežani uvjeti vidljivosti u cestovnom prometu za ljudskog vozača	7
2.3. Otežani uvjeti vidljivosti u cestovnom prometu za senzore u vozilima.....	9
3. OPĆENITO O NAPREDNIM SUSTAVIMA POMOĆI VOZAČU	14
3.1. Zakonska regulativa naprednih sustava pomoći vozaču	16
3.2. Primjeri najpoznatijih naprednih sustava pomoći vozaču	18
4. SUSTAVI PREPOZNAVANJA OZNAKA NA KOLNIKU I PROMETNIH ZNAKOVA	
23	
4.1. Senzori koji su ugrađeni u vozila	23
4.2. Princip rada sustava za uočavanje i prepoznavanje prometnih znakova i	
oznaka na kolniku.....	29
5. PREGLED ISTRAŽIVANJA	33
5.1. Pregled istraživanja kvalitete detekcije oznaka na kolniku.....	33
5.2. Pregled istraživanja kvalitete detekcije prometnih znakova	43
6. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA.....	47
7. ZAKLJUČAK.....	50
LITERATURA	52
POPIS KRATICA.....	56
POPIS SLIKA.....	57
POPIS TABLICA	57
POPIS GRAFIKONA.....	58

1. UVOD

Razvoj automobilske tehnologije polako omogućava sve manju prisutnost čovjeka u segmente povezane s procesom vožnje automobila. Primarni cilj koji je doveo do te razine razvoja je želja za smanjenjem prometnih nesreća u cestovnom prometu. Godišnje na globalnoj razini zbog prometnih nesreća smrtno strada oko 1,35 milijuna ljudi [1]. Iz tog se razloga danas implementiraju mnogobrojne tehnologije kako bi se povećala razina sigurnosti, udobnosti i unaprijedio način upravljanja vozilom. Općenito su suvremena vozila opremljena različitim pasivnim i aktivnim sustavima pomoći. Pasivni sustavi služe za ublažavanje posljedice prometne nesreće, odnosno ozljede putnika, dok aktivni sustavi služe za držanje kontrole nad funkcijama u vozilu i na taj način nastoje spriječiti nastanak prometne nesreće [2]. U skupinu aktivnih sustava ubrajaju se i napredni sustavi pomoći vozaču (engl. *Advanced Driver Assistance Systems* – ADAS) koji su sastavni dio opreme današnjih vozila.

Funkcija ADAS sustava je da djelomično ili potpuno upravljaju nad vozilom, ovisno o vrsti i složenosti sustava. Sustavi mogu zadržavati položaj i konstantnu brzinu na cesti, pratiti prometnu signalizaciju i djelovati u skladu s njom, kočiti ili ubrzavati, nadzirati mrtvi kut, itd. Takav rad omogućuju razni senzori koji se ugrađuju u vozila. Senzori kojima ADAS sustavi prikupljaju važne informacije iz okoline mogu biti lidar sustavi, radari, ultrazvučni senzori, kamere, navigacijski sustavi, itd.

S obzirom na to da su oznake na kolniku i prometni znakovi važan dio prometne infrastrukture koji pomažu cestovnim vlastima u upravljanju i reguliranju prometa, a sudionicima u prometu daju potrebne informacije, najčešće korišteni ADAS sustavi upravo su usmjereni na njihovo prepoznavanje i praćenje. Detektiranje oznaka na kolniku koristi se za upozoravanje vozača tijekom napuštanja prometne trake te za pomoć vozaču pri zadržavanju položaja vozila unutar kolničke trake. Detektiranje i raspoznavanje prometnih znakova služi za izdavanje upozorenja o ograničenju brzine i prilagođavanju brzine propisanoj na dijelu ceste na kojem se vozilo nalazi.

Često vozila koriste integraciju nekoliko različitih senzora kako bi dobili najtočniju viziju okoline od 360 stupnjeva koju ne može ostvariti niti jedan ljudski vozač. S druge strane, ADAS sustavi se usprkos visoko razvijenoj tehnologiji senzora, suočavaju s čovjeku poznatim izazovima percepcije pri raznim otežanim vremenskim uvjetima.

Kiša, magla, snijeg, jako bliještanje sunca, tuča i ostale vremenske nepogode znatno narušavaju preciznost i točnost detekcije elemenata iz okoline, pa tako i prometne signalizacije. Radari su

senzori koji su najotporniji na vremenske uvjete, međutim veću primjenu u vozilima imaju kamere, a one su izrazito osjetljive na vremenske uvjete te im se drastično smanjuje kvaliteta detekcije.

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati kako različiti vremenski uvjeti utječu na detekciju prometne signalizacije ADAS sustavima u vozilima. Rad je podijeljen na sedam poglavlja koja obuhvaćaju:

1. Uvod
2. Prometna signalizacija i otežani uvjeti vidljivosti u cestovnom prometu
3. Općenito o naprednim sustavima pomoći vozaču
4. Sustavi prepoznavanja oznaka na kolniku i prometnih znakova
5. Pregled dosadašnjih istraživanja
6. Prijedlog poboljšanja
7. Zaključak

U drugom poglavlju opisana je prometna signalizacija, njena podjela s naglaskom na karakteristike prometnih znakova i oznaka na kolniku, materijali koji omogućuju njihovu bolju vidljivost te su navedeni i opisani otežani uvjeti vidljivosti u prometu za vozača ali i za napredne sustave pomoći vozaču.

U trećem poglavlju detaljno se opisuje što su napredni sustavi pomoći vozaču, njihova važnost za smanjenje broja žrtava u cestovnom prometu, način na koji su podijeljeni prema razini ovisnosti o vozaču te su opisani neki od važnijih i najpoznatijih naprednih sustava.

Četvrto poglavlje odnosi se na senzore ugrađene u vozila, a koji omogućuju „vid“ naprednim sustavima pomoći vozaču. Opisani je proces rada svakog navedenog senzora te je u nastavku poglavlja obrazložen rad sustava za detekciju oznaka na kolniku i prometnih znakova.

U petom poglavlju predstavljena su istraživanja i studije drugih autora koji su istraživali teme otežanih vremenskih uvjeta na rad naprednih sustava pomoći vozaču, odnosno njihovih senzora.

Šesto poglavlje predstavlja prijedlog poboljšanja u polju detekcije oznaka na kolniku i prometnih znakova na temelju prethodno spomenutih istraživanja.

2. PROMETNA SIGNALIZACIJA I OTEŽANI UVJETI VIDLJIVOSTI

Prilikom vožnje vozač percipira svoju okolinu i elemente unutar nje te donosi odluke temeljene na trenutnoj situaciji u kojoj se nalazi. Percepcija okoline je neprekidni i nesvjesni proces prikupljanja informacija i podražaja iz okoline i njihovo uspoređivanje s već poznatim, naučenim informacijama što čovjeku omogućuje prepoznavanje značenja predmeta, pojava i događaja u okolini. Percepcijom se prikuplja veliki broj informacija osjetilima kao što su osjetilo vida, sluha i osjeta. Najveći broj informacija u vožnji prikuplja se putem osjeta vida, čak 90 % [3]. Iz tog podatka proizlazi važnost prometne signalizacije u cestovnom prometu i njena funkcija komunikacije sa svim sudionicima u prometu.

2.1. Prometna signalizacija

Prometni znakovi, signalizacija i oprema na cestama su sredstva i uređaji koji sudionike u prometu upozoravaju na opasnost, definiraju zabrane, ograničenja i obaveze te pružaju potrebne obavijesti za siguran i nesmetan promet.

Prometne znakove, signalizaciju i opremu na cestama čine [4]:

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.

Ipak, najvažnija i najčešća interakcija između navedenih elementa prometne signalizacije događa se između čovjeka, prometnih znakova i oznaka na kolniku.

Prometni znakovi su skup posebno kodiranih oznaka koji se u odnosu na prometnu površinu postavljaju vertikalno. Namijenjeni su reguliranju i upravljanju kretanja na prometnoj mreži, označavanju opasnih mjesta i usmjeravanju sudionika u prometu. Prometni znakovi

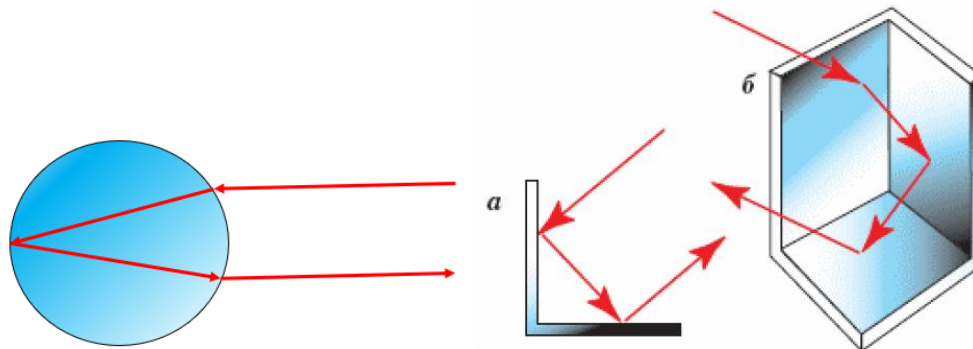
moгу biti izrađeni u obliku jednakokraničnog trokuta, kruga, kvadrata, pravokutnika ili ostalih oblika kao npr. osmerokuta ovisno o njihovoj funkciji.

S druge strane, oznake na kolniku su horizontalni dio prometne signalizacije koji kombinacijom posebno propisanih crta, natpisa i simbola oblikuje prometnu površinu kako bi dale potrebne informacije vezane uz vizualno vođenje sudionika u prometu. Mogu se postavljati i u kombinaciji s prometnim znakovima ukoliko je potrebno posebno naglasiti značenje takvih znakova. Postavljanje oznaka se vrši ucrtavanjem, lijepljenjem, ugrađivanjem ili utiskivanjem u asfaltni ili betonski kolnički zastor. Oznake na kolniku izrađene su od međusobno povezanih materijala (pigmenata, veziva, punila, specijalnih kemikalija i otapala), a odabir odgovarajućeg materijala ovisi o prometnim, klimatskim i ostalim uvjetima na cesti gdje se primjenjuju. Razlike u materijalima očituju se u načinu primjene, vijeku trajanja, cijeni, debljini nanosa te strukturalnim značajkama, a najčešće se primjenjuju boje, plastični materijali i trake [3].

Uočavanje prometnih znakova i oznaka na kolniku omogućuje njihova retrorefleksija, odnosno vrsta refleksije koja ima sposobnost povrata zrake svjetlosti natrag prema svojem izvoru. U prometu se to odnosi na povrat svjetla automobila natrag prema izvoru tj. vozaču. Takav povrat svjetla omogućuje izrazito dobru vidljivost prometne signalizacije, noću jer stvara veću sjajnost površine, a danju jer stvara veći kontrast između okoline. Retrorefleksija prometne signalizacije se postiže posebnim retroreflektirajućim materijalima različitih koeficijenta retrorefleksije koji predstavlja omjer izlazne sjajnosti površine i ulaznog osvjetljenja po toj površini, a mjeri se u kandelima po luksu po metru kvadratnom ($\text{cd} \cdot \text{l} \cdot \text{x}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$).

Ovisno o retroreflektirajućem materijalu od kojeg je izrađena prometna signalizacija postoji sferična i prizmatična retrorefleksija. Kod sferične retrorefleksije (Slika 1, lijevo) zrake svjetlosti iz svjetla automobila prolaze kroz veliki broj malih staklenih mikrokuglica te se svjetlost lomi pri prolasku kroz prednju površinu staklene kuglice, zatim se reflektira od zrcalne površine iza kuglice te se ponovo lomi prolaskom kroz prednju površinu i reflektira se u smjeru svog izvora. Drugim riječima, svjetlost se lomi dva puta prije nego se vrati natrag prema izvoru što smanjuje količinu i jakost reflektirane svjetlosti. S druge strane, kod prizmatične retrorefleksije (Slika 1, desno) se umjesto staklenih kuglica koriste mikroprizme sačinjene od tri jednake okomite površine na kojima se ulazna svjetlost reflektira od sve tri plohe i vraća u smjeru izvora. Nema loma svjetlosti kao pri sferičnoj retrorefleksiji što omogućava bolju retrorefleksiju. Za retroreflektirajuća svojstva oznaka na kolniku koristi se sferična retrorefleksija. Prizmatičnu retrorefleksiju nije moguće koristiti jer da bi reflektirale svjetlost, mikroprizme moraju biti orijentirane da reflektiraju svjetlost iz određenog smjera, dok pri

postavljanju mikrokuglica u oznake na kolniku one bez obzira na način na koji su postavljene vraćaju svjetlost.



Slika 1: Sferična i prizmatična retrorefleksija

Izvor: [3]

Ovisno o spomenutim retroreflektirajućim svojstvima, oznake na kolniku dijele se na Tip I i Tip II. Oznake na kolniku Tipa I izvode se u pravilu bojom, minimalne debljine suhog sloja od $220 \mu\text{m}$ te se koriste za označavanje cesta manjeg prometnog opterećenja. Oznake na kolniku Tipa II se, u pravilu, izvode bojom minimalne debljine suhog sloja od $330 \mu\text{m}$, plastičnim materijalima minimalne debljine sloja $2.000 \mu\text{m}$ ili tvornički izrađenim trakama. Koriste se za ceste većeg prometnog opterećenja ili na cestama gdje je zabilježen veći broj prometnih nesreća, ceste loše preglednosti, česta pojava magle i ostalih otežanih uvjeta vidljivosti [3].

Ovisno o indeksu loma, odnosno omjeru brzine svjetlosti u vakuumu i brzine svjetlosti u tvari staklene perle koje se koriste za oznake na kolniku dijele se u tri klase, a to su [5]:

- klasa A = $RI \geq 1,5$
- klasa B = $RI \geq 1,7$
- klasa C = $RI \geq 1,9$

U mokrim i kišnim uvjetima staklene perle većeg indeksa loma vraćat će više svjetlosti natrag prema izvoru. Kako bi njihova učinkovitost bila optimalna kombiniraju se perle različitih indeksa loma.

Kao i kod oznaka na kolniku, godinama se nastojalo poboljšati vidljivost prometnih znakova pa tako prvi prometni znakovi nisu imali retroreflektirajuća svojstva već su se bojali bojama. Ali danas su u primjeni tri tipa retroreflektirajućeg materijala [3]:

- materijal klase I (Engineer Grade, od 1959. godine)
- materijal klase II (High Intensity Grade, od 1971. godine)
- materijal klase III (Diamond Grade, od 1990. godine)

Sva tri navedena materijala za izradu prometnih znakova sačinjava nekoliko slojeva i ovojnica unutar kojih su staklene perle ili mikroprizme ovisno o vrsti retrorefleksije. Materijal klase I je materijal koji ima najmanja retroreflektirajuća svojstva, a koristi se u područjima slabijeg intenziteta prometa i s manjim brzinama vožnje. Jamstvo trajnosti mu je sedam godina. Materijal klase II primjenjuju se na cestama s većim brzinama vožnje te na prometnim znakovima čija važnost ima veliko značenje (stop, pješački prijelaz, itd.) Vidljivi su i iz širokih kutova gledanja, a jamstvo trajnosti iznosi 10 godina. Materijali klase III koriste isključivo mikroprizme u materijalu te imaju visoke razine retrorefleksije što osigurava vidljivost prometnih znakova u svim vremenskim uvjetima. Jamstvo trajnosti im iznosi između 10 i 12 godina.

2.2. Otežani uvjeti vidljivosti u cestovnom prometu za ljudskog vozača

Otežani uvjeti vidljivosti su uvjeti u kojima je vidljivost okoline iz određenog razloga smanjena. Oni u velikoj mjeri izazivaju negativne učinke u cestovnom prometu. Naime, - umanjena vidljivosti okoline negativno utječe na vozačevu percepciju i procjenu trenutne prometne situacije što može dovesti do pogrešaka vozača. Isto tako, smanjena vidljivost usporava prometni tok što također može negativno utjecati na sigurnost prometa te efikasnost prometne mreže. Razlozi zbog kojeg je okolina teže uočljiva mogu se svrstati u tri kategorije [3]:

- otežani uvjeti vidljivosti kao posljedica utjecaja okoline
- otežani uvjeti vidljivosti kao posljedica utjecaja vozača
- otežani uvjeti vidljivosti kao posljedica utjecaja vozila

Utjecaj okoline predstavljaju sve karakteristike okoline u kojoj se nalazi vozač, a to mogu biti različiti atmosferski utjecaji kao na primjer kiša, magla, snijeg, tuča, itd. Negativni efekt koji oni stvaraju je apsorpcija i raspršivanje svjetla. Već je ranije spomenuta važnost retrorefleksije prometne signalizacije, a zbog atmosferskih utjecaja manje svjetlosti s vozila dopire do objekta te se i manja količina svjetlosti reflektira s objekta i vraća do vozačeva oka. Također, dio raspršenog svjetla na česticama koje se nalaze u zraku vraćaju se natrag u vozačevo oko te se stvara privid svjetlije atmosfere tj. smanjuje se kontrast objekta i okoline te se otežava njegovo uočavanje [3].

Pojava kiše kao jednog od najčešćih atmosferskih utjecaja posebno ugrožava sigurnost prometa zbog smanjene vidljivosti i lošijeg trenja između pneumatika i kolnika. Tanki vodeni sloj koji nastaje na vjetrobranskom staklu umanjuje vidljivost, prolazak svjetlosti kroz sloj kiše stvara bliještanje, a vodeni sloj kiše na kolniku umanjuje vidljivost oznaka na kolniku jer prekriva njihovu površinu. Osim kiše, snijeg uzrokuje sličan efekt jer i on djelomično ili u potpunosti prekriva površinu kolnika i oznaka na kolniku te smanjuje njihovu mogućnost povrata svjetlosti natrag do vozača [3]. Vožnja prilikom utjecaja vremenskih uvjeta očituje se i u opasnostima prilikom uočavanja drugih vozila i sudionika u prometu u neposrednoj blizini kao i prometne signalizacije. Posebna opasnost prijeteći pri vožnji u uvjetima magle koja može drastično ograničiti vidljivost oko vozila.

Osim atmosferskih utjecaja, moguća je otežana vidljivost zbog utjecaja tzv. „vizualnog nereda“, odnosno zasićenost pozadine raznim objektima koji se nalaze u vozačevoj okolini, koji nisu sastavni dio prometne signalizacije i koji mogu ometati vozača prilikom percepcije prometne signalizacije. Jedan od najčešćih oblika vizualnog nereda je reklamni sadržaj postavljen u blizini ceste.

Uz sve navedeno, u otežane uvjete vidljivosti spadaju i noćni uvjeti, s obzirom na to da tada ljudsko oko percipira samo 5 % informacija u odnosu na količinu koju percipira u normalnim uvjetima vidljivosti [3]. Razlog tome je što je noću manja razina prirodnog osvjetljenja, vozačevo vidno polje je smanjeno što stvara lošiju percepciju boja, oblika i tekstura te onemogućuje pravovremeno uočavanje potencijalnih opasnosti.

Otežani uvjeti vidljivosti kao posljedica utjecaja vozača je najčešći razlog prometnih nesreća u prometu. Vozačeve fizičke i psihičke karakteristike u velikoj mjeri mogu utjecati na vidljivost prometne signalizacije, a najčešće se odnose na vozačev vidni sustav, odnosno oštrinu vida, percepciju dubine, mogućnost adaptacije i akomodacije oka, raspoznavanje boja i kontrasta [3]. Navedeni elementi ovise u najvećoj mjeri o starosti vozača jer se sa starošću te karakteristike smanjuju. Također, u starosti se javljaju razne mane i bolesti oka, npr. kratkovidnost, siva mrena, gubitak oštrine vida, itd. Veliki utjecaj na percepciju okoline imaju povremeni problemi koji nastaju kao posljedica događaja koji su se zbili prije početka vožnje, a to su umor, stres i utjecaj opijata. Navedeno umanjuje vozačevu pažnju, iskrivljuje stvarni izgled okoline i smanjuje motoričke sposobnosti vozača.

Opisani utjecaji vozača i okoline na vidljivost dodatno se pogoršavaju ukoliko se pribroji i utjecaj karakteristika vozila. U utjecaj vozila mogu se svrstati nedostaci vjetrobranskog stakla i svjetla automobila. Prilikom vožnje vjetrobransko staklo štiti vozača od

atmosferskih utjecaja i raznih letećih elementa. Ukoliko je prisutno oštećenje na vjetrobranu svjetlost koja prolazi kroz staklo se raspršuje te povećava se efekt bljeska. Bitnu ulogu na vidljivost noću i u uvjetima otežane vidljivosti imaju svjetla automobila, a njihova učinkovitost ovisi o pravilnoj usmjerenosti, ispravnosti, jačini i čistoći.

Pravovremeno uočavanje prometne signalizacije i reagiranje u skladu s informacijama koje se nalaze u vozačevoj okolini posebno je narušeno kombinacijom prethodno navedenih utjecaja, pogotovo kada se otežanim uvjetima vidljivosti koji nastaju kao posljedica utjecaja vozača, okoline ili vozila ubroje i ostali elementi koji utječu na vidljivost prometne signalizacije, a to su karakteristike prometne signalizacije, odnosno njihova retrorefleksija, dimenzije, oblik, dizajn, boja i vrsta. Nadalje, položaj na cesti (utječe na ulazni kut i kut promatranja) te zakrivljenost, širina kolnika i broj prometnih traka [3].

2.3. Otežani uvjeti vidljivosti u cestovnom prometu za senzore u vozilima

U prethodnom poglavlju opisani su otežani uvjeti vidljivosti za ljudske vozače te bi praktično rješenje navedenih problema izazvanih otežanim uvjetima vidljivosti moglo biti korištenje naprednih sustava za pomoć vozaču (engl. *Advanced Driver Assistance Systems - ADAS*) koji koriste razne napredne senzore za detekciju događanja u okolini vozila. Međutim, iako su ti sustavi i njihovi senzori izrazito sofisticirani te služe kao važna potpora vozaču u vožnji, imaju poteškoća u radu pri otežanim uvjetima vidljivosti.

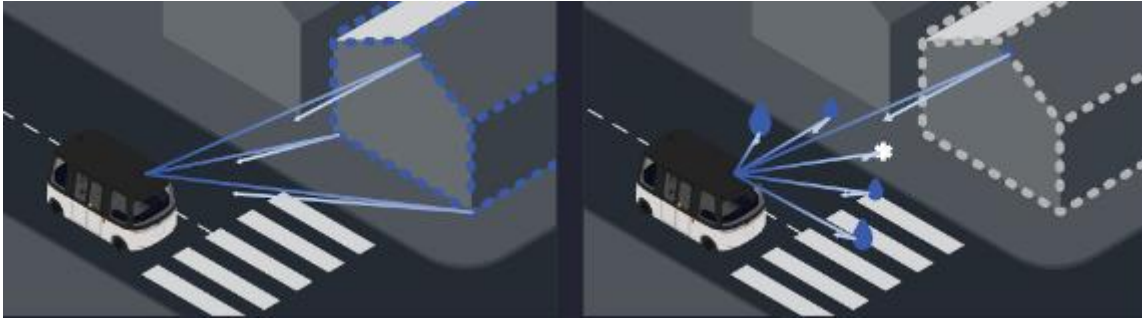
Senzori percepcije koji se najčešće koriste za rad naprednih sustava pomoći vozaču su kamere, lidari, radari i ultrazvučni senzori. U tablici 1 su navedene njihove karakteristike, a detaljni opis svakog senzora nalazi se u poglavlju 4.1. Tehnologija koju koriste senzori temelji se na odašiljanju laserske zrake kod lidar sustava, a radio ili zvučnih signala kod radara i ultrazvučnih senzora. Kamere za razliku od tih senzora percipiraju okolinu na temelju prikupljanja svjetlosti u vidljivom spektru. Na širenje i odašiljanje elektromagnetskih signala senzora utječu oborine kao što su kiša, snijeg, susnježica, itd. Prema tablici 1 vidljivo je da niti jedan senzor nije otporan na vremenske uvjete ali se razlikuju u ostalim karakteristikama kao što su osjetljivost na razne smetnje, detekcija udaljenosti, domet, itd. Općenito na ispravan i točan rad senzora u vozilu najviše utječu magla i kiša, a posebno se to odnosi na senzore koji rade na frekvencijama vidljivog svjetla, odnosno kamere.

Tablica 1: Senzori u vozilima i njihove karakteristike

Značajka	LiDAR	RADAR	Kamera	Ultrazvučni senzor
Tehnologija	Laserska zraka	Radio valovi	Svjetlost	Zvučni val
Dometa	~200 m	~250 m	~200 m	~5 m
Rezolucija	Dobra	Prosječna	Jako dobra	Loša
Utječu vremenski uvjeti	Da	Da	Da	Da
Utječe svjetlost	Ne	Ne	Da	Ne
Detektira brzinu	Dobro	Jako dobro	Loše	Loše
Detektira udaljenost	Dobro	Jako dobro	Loše	Dobro
Osjetljivost na smetnje	Dobra	Loša	Jako dobra	Dobra
Veličina	Velika	Mala	Mala	Mala

Izvor: [6]

Lidari rade na način da emitiraju (laserske) zrake svjetlosti te kao rezultat dobiva oblak točaka iz kojeg se kreira 3D model okruženja. Izrazito su osjetljivi na male čestice, kao što su kapljice kiše, magla, lišće i ostali elementi koji se mogu pronaći u zraku jer djeluju kao šum i kvare kvalitetu 3D prikaza što dovodi do pogrešnog opažanja okoline. Vremenski uvjet koji najviše utječe na lidar je magla jer dolazi do rasipanja povratnog signala što utječe na detekciju ili lažnu detekciju objekata. Nadalje, raspršene kapljice kiše utječu na širenje elektromagnetskog signala jer se laserska zraka koja udari u kapljice lomi u drugom smjeru ili se apsorbira (Slika 2). Potrebno je napomenuti da manja količina kiše kao što je 10 mm/h ima mali utjecaj na lidar, dok jači intenzitet kiše od 30 mm/h ili više uzrokuje eksponencijalno smanjenje udaljenosti na kojoj lidar prepoznaje objekte za 50 % [7, 8].



Slika 2:Slabljenje jačine signala zbog utjecaja kapljica kiše

Izvor: [8]

Osim apsorpcije laserskog signala u kapljicama kiše, jedan od mogućih problema za lidar je pojava vodenog vala koji zapljusne prostor ispred vozila na kojem se nalaz lidar senzor dok se dva vozila mimoilaze. Pri tome senzor ne može razlikovati vodeni val od određene prepreke ispred sebe. Problematika je prikazana na slici 3 gdje je na lijevoj strani slike prikazano kako kamera vidi situaciju gdje teretno vozilo zapljusne određenu količinu vode ispred vozila, a na slici desno je ta ista situacija vidljiva preko lidar senzora.



Slika 3: Vodeni val ispred senzora tijekom kiše

Izvor: [9]



Slika 4: Smetnje za lidar izazvane snijegom

Izvor: [10]

Kao i kapljice kiše, snijeg uzrokuje smetnje u detekciji okoline jer svaka pahulja koju lidar senzor prepozna stvara oblak točaka koje predstavljaju šum u okolini vozila i u konačnici se važni elementi u okolini ne mogu prepoznati (Slika 4). Pozitivna strana lidar senzora je što su neovisni o osvjetljenju, odnosno djeluje jednako danju i noću te ih ne osljepljuje jaka sunčeva svjetlost na horizontu ili raspršenje svjetlosti zbog kiše ili snijega.

S druge strane, za razliku od lidara promjenjivi uvjeti svjetlosti (Sjene, bliještanje, refleksije svjetlosti i ostao) itekako utječu na rad kamera. Sustav kamera u vozilima koristi osvjetljenje kako bi se odredio količinu svjetlosti koji padne na piksele slike. Svjetlost uzrokuje veće varijacije intenziteta koji rezultiraju degradacijom slike i videa. U dnevnim uvjetima kada je sunce blizu horizonta (svitanje ili zalazak sunca) ili je okolina prekrivena snijegom ili lokvama, kamere mogu često biti osljepljene bliještanjem. U posljednje vrijeme su u primjeni kamere s visokim dinamičkim rasponom (engl. *High Dynamic Range* – HDR) kako bi se umanjio intenzitet bliještanja i omogućilo bolje raspoznavanje objekata [9].

Kamere su posebno osjetljive i na oborine. Kapljice vode mogu utjecati na sposobnost uočavanja oznaka na kolniku i okolnih elemenata jer one uzrokuje zamračenje u prostoru ispred leće kamere. Snijeg i jaka kiša prekrivaju oznake na kolniku te ih kamera ne može detektirati ili pak pretvaraju rubove promatranih objekta (prometne znakove) nejasnim. Međutim, moguće je navedeno spriječiti uz pomoć određenih digitalnih tehnika obrade slike. Problem s oborinama je moguće riješiti ukoliko je kamera instalirana unutar vozila, iza vjetrobranskog stakla. U slučaju da se nalazi s vanjske strane neizbježno je da će njen rad ometati oborine.

Pri jakoj kiši, brisači na vjetrobranskom staklu vozila mogu uzrokovati da vozilo izgubi trag oznaka na kolniku jer brisači privremeno blokiraju kameru. Brisači na vjetrobranskom staklu mogu blokirati i prijem GPS signala što onemogućuje prijem signala od satelita. Usprkos tome, na GNSS uglavnom ne utječu vremenski uvjeti.

Od svih navedenih senzora, radar je najotporniji na vremenske uvjete. Problem radara je razlikovanje i detekcija metalnih i ne metalnih predmeta u okolini. Odnosno, radari najbolje rade pri mjerenju velikih metalnih objekata kao što su branici drugih vozila. U tom kontekstu, signal elektromagnetskih valova može biti slabiji zbog utjecaja vlažnosti na antenu radara ili metalnih predmeta u blizini ali ne tako značajno kao kod lidara ili kamera [7]. Jaka kiša smanjuje domet radara, detekcija određenog objekta tada opada do 45 %. Nadalje, radar je ograničen u pogledu definicije rubova objekata i klasifikacije predmeta ispred vozila [8].

Svaki od navedenih senzora ima svoje karakteristike i određena ograničenja te se u praksi najčešće koristi integracija više senzora u vozilima kako se ne bi pouzdali u samo jedan senzor te bi se tako umanjila mogućnost pogrešne detekcije.

3. OPĆENITO O NAPREDNIM SUSTAVIMA POMOĆI VOZAČU

Napredni sustavi pomoći vozaču predstavljaju elektroničke sustave ugrađene u vozila s ciljem pružanja podrške vozaču pri upravljanju vozilom. Sastoje se od niza aktivnih i pasivnih sigurnosnih funkcija u vozilima koji upozoravaju vozača na potencijalne opasnosti i/ili preuzimaju upravljanje nad vozilom u funkciji izbjegavanja nesreće. Ako se nesreća ne može izbjeći, smanjuju njezine razmjere i posljedice.

U sustave pasivne sigurnosti se ubrajaju oni sustavi koji se aktiviraju prilikom sudara i time smanjuju mogućnost ozljede vozača i putnika u vozilu. Npr. sigurnosni pojas, zračni jastuk, sjedala, naslon za glavu, branici itd. Također, oni podrazumijevaju sve konstrukcije na vozilu namijenjene smanjenju rizika ozljede i smrtnih slučajeva svih sudionika u prometu. Aktivna sigurnost obuhvaća sve sustave i konstrukcijske mjere na vozilu kojima se izbjegavaju nezgode. Sustavi aktivne sigurnosti aktiviraju se pokretanjem vozila te su kontinuirano uključeni dok je vozilo u pogonu i stalno prate stanja senzora, a računalo na temelju tih podataka procjenjuje jesu li se ispunili uvjeti za aktiviranje nekog od sustava. Zadatak sustava za aktivnu sigurnost je da smanji vjerojatnost nastanka prometne nesreće. Primjer aktivnih sigurnosti su sustav protiv blokiranja kotača, elektronički program stabilnosti, sustav kontrole proklizavanja, sustav automatskog kočenja, sustav zadržavanja vozila u prometnoj traci [2].

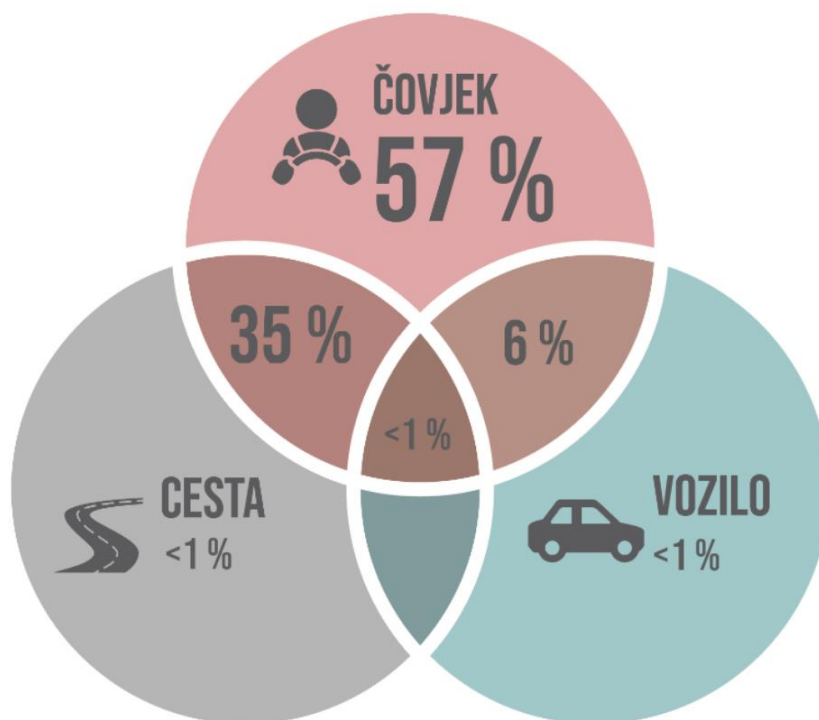
Važnost korištenja ADAS sustava u vozilima prepoznata je jer broj poginulih osoba u prometnim nesrećama u svijetu neprekidno raste. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji godišnji broj poginulih u prometnim nesrećama dosegao je 1,3 milijuna, što svrstava prometne nesreće na osmo mjesto uzročnika smrti u svijetu [1].

Osim gubitka ljudskih života, prometne nesreće imaju posljedicu i na ekonomiju. Utvrđeno je da je trošak poginulih te teško i lako ozlijeđenih osoba u razdoblju 2010.-2019. godine hrvatsko društvo stajao minimalno 76,8 milijardi kuna. Isto tako, godišnji troškovi prometnih nesreća Europske unije procjenjuju se na 280 milijardi eura, što čini 2% BDP-a Europske unije [1].

U lipnju 2019. godine, Europska komisija objavila je radni dokument pod nazivom Okvir politike EU za sigurnost na cestama (EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 - Next Steps Towards Vision Zero), koji se odnosi na plansko razdoblje od 2021. do 2030. godine. Svrha radnog dokumenta je prevesti politiku navedenog Akcijskog plana u provedbu te pružiti smjernice pri izradi nacionalnih planova za razdoblje od 2021. do 2030. godine. Europska unija dokumentom potvrđuje dugoročni svjetski cilj koji se odnosi na nultu stopu

smrtnog stradavanja do 2050. godine. Cilj politike je da nijedan sudionik ne pogine ili ne bude teže ozlijeđen u prometnim nesrećama te da buduće planiranje cestovnog prometa treba biti u skladu s takvim zahtjevima. Osim navedenog dugoročnog cilja, postavlja se cilj 50 % smanjenja smrtnog stradavanja do 2030. godine, koji se ujedno nastavlja na prošli europski desetogodišnji program sigurnosti cestovnog prometa [1].

Tehnički napredak u području naprednih sustava pomoći vozaču nudi nove mogućnosti za smanjivanje broja stradalih. Planiranom smanjenju broja žrtava u prometu doprinijelo bi korištenje ADAS sustava u vozilima te bi se smanjila bi se mogućnost nastanka prometnih nesreća izazvanih ljudskom pogreškom. Važnost smanjenja broja ljudskih pogrešaka najbolje pokazuje istraživanje napravljeno za Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje od 2021. do 2030. godine, gdje je pokazano da je čovjek u 57 % uzročnik prometnih nesreća, a za manji postotak su zaduženi cesta ili vozilo [1]. Udio svakog čimbenika koji uzrokuje prometne nesreće prikazan je na slici 4.



Slika 5: Čimbenici sigurnosti cestovnog prometa

Izvor: [1]

Europska unija donijela je Uredbu kojom se propisuje da se od 6. srpnja 2022. svi novi tipovi vozila u osnovnoj opremi moraju opremiti brojnim sustavima pomoći, a modeli vozila predstavljeni prije tog roka imati će vremena implementirati obavezne sustave pomoći do 7.

srpnja 2024. godine. Neki od obveznih sustava su: inteligentna prilagodba brzine, automatsko kočenje u nuždi, sustav za održavanje vozila u prometnoj traci, upozorenje za izlazak iz trake i upozorenja na pospanost vozača. Procijenjeno je da bi ti sustavi mogli spasiti barem 7.300 života i izbjeći 38.900 teških ozljeda do 2030. godine [11, 12].

3.1. Zakonska regulativa naprednih sustava pomoći vozaču

Dosadašnjim razvojem naprednih sustava pomoći vozaču proizvelo se mnoštvo sustava sa različitim funkcijama i ciljevima kojeg obavljaju u vozilu. Svaki sustav može se kategorizirati u određenu razinu ovisno o njegovoj neovisnosti za čovjekovom intervencijom, odnosno automatizacijom. Međunarodnu klasifikaciju za automatizirana vozila izdao je SAE International, Međunarodno udruženje inženjera i srodnih tehničkih stručnjaka u zrakoplovnoj i automobilskoj industriji [13]. Prema SAE standardu razine automatizacije vozila se dijele na šest razina temeljem dvije makrokategorije, a to su funkcije koje izvodi ljudski vozač i funkcije u vožnji koje izvode automatizirani sustavi. Navedenih šest razina su [13]:

1. Razina 0: Bez automatizacije
2. Razina 1: Pomoć vozaču
3. Razina 2: Djelomična automatizacija
4. Razina 3: Uvjetna automatizacija
5. Razina 4: Visoka automatizacija
6. Razina 5: Potpuna automatizacija

RAZINA AUTONOMIJE VOŽNJE						
	SAE RAZINA 0	SAE RAZINA 1	SAE RAZINA 2	SAE RAZINA 3	SAE RAZINA 4	SAE RAZINA 5
Što čovjek u vozačkom sjedalu mora raditi?	Upravlja vozilom iako su uključene funkcije pomoći vozaču - čak i ako vaša stopala nisu na pedalama i ne držite volan			Ne upravlja vozilom kada su uključene automatske funkcije pomoći vozaču - čak i ako sjedite u 'vozačkom sjedalu'		
	Morate stalno nadzirati ove funkcije pomoći; morate upravljati, kočiti ili ubrzavati prema potrebi kako biste održali sigurnost			Kada funkcije zahtijevaju, morate voziti	Ove automatske funkcije ne zahtijevaju da preuzmete volan	
	OVE FUNKCIJE PODRŽAVA VOZAČ			OVO SU AUTOMATSKE FUNKCIJE		
Što rade te funkcije	Ove funkcije su ograničene na pružanje upozorenja i trenutnu pomoć	Ove funkcije omogućuju upravljanje ILI pomažu vozaču da koči/ubrzava	Ove funkcije omogućuju upravljanje I pružaju pomoć vozaču pri kočenju/ubrzavanju	Ove funkcije mogu upravljati vozilom u ograničenim uvjetima i neće raditi ako oni nisu zadovoljeni		Ova funkcija može upravljati vozilom u svim uvjetima
Primjer funkcija	<ul style="list-style-type: none"> • automatska kočnica u slučaju nužde • upozorenje na mrtvi kut • upozorenje na napuštanje vozne trake 	<ul style="list-style-type: none"> • funkcija držanja vozne trake <p>ILI</p> <ul style="list-style-type: none"> • prilagodljivi tempomat 	<ul style="list-style-type: none"> • funkcija držanja vozne trake <p>I</p> <ul style="list-style-type: none"> • prilagodljivi tempomat u isto vrijeme 	<ul style="list-style-type: none"> • vozač u prometnim gužvama 	<ul style="list-style-type: none"> • lokalni taxi bez vozača • pedale/volan mogu ili ne moraju biti ugrađeni 	<ul style="list-style-type: none"> • isto kao razina 4, ali funkcije mogu upravljati svugdje u svim uvjetima

Slika 6: Razine autonomije vožnje

Izvor: [14]

Prema podjeli sa slike 6, prve tri razine su u potpunoj nadležnosti vozača, tj. razine u kojima vozač mora u svakom trenutku nadzirati sustav te voditi proces vožnje. Nulta razina znači da uopće nema automatizacije, odnosno vožnja je u potpunosti manualna. Prilagodljivi tempomat, sustavi protiv blokiranja kotača i kontrola stabilnosti su sustavi pomoći koji započinju s prvom razinom. Razina 1 je najniža razina automatizacije vozila te služi vozaču kao pomoć u vožnji. Tip vozila sa razinom 1 autonomije ima jedan automatizirani sustav koji mu pomaže u vožnji, kao što su upravljanje ili ubrzavanje (tempomat). Drugim riječima, to su sustavi koji pružaju asistenciju vozaču dok je on u potpunoj kontroli nad vozilom. Druga razina je djelomična automatizacija, odnosno sustavi pomoći kao što su kočenje u nuždi ili izbjegavanje sudara pri kojima sustav ima neprekidnu bočnu i uzdužnu kontrolu nad vozilom ali sustav nije sposoban za detekciju objekta i događaja.

Treća razina predstavlja početak razina na kojima započinju automatske funkcije. Treća razina je uvjetna automatizacija, tj. vozač se može usredotočiti na druge zadatke osim vožnje tijekom normalnog rada, međutim, mora brzo reagirati ukoliko vozilo da zahtjev za brzu intervenciju vozača. Na najvišim razinama, četvrtoj i petoj je sustav automatizirane vožnje odgovoran za izvršavanje svih zadataka u vožnji bez potrebe za intervencijom vozača. Razlika

između tih dviju razina je u domeni operativnog dizajna - ODD (engl. Operational Design Domain), odnosno domena unutar kojeg određeni automatizirani sustav može funkcionirati. Razina četiri radi unutar ODD u kojoj mora postojati specijalna infrastruktura ili detaljne digitalne karte. Razina pet nema te restrikcije, već može raditi na bilo kojoj cestovnoj mreži u bilo kojim vremenskim uvjetima, međutim takva vrsta vozila još uvijek nije na tržištu [15]. Na domenu utječu ograničenja i nedostaci prometne infrastrukture, okoliš i geografske karakteristike te vremenski uvjeti i doba dana kada se putuje vozilom [15, 16, 17].

Razine od 3 do 5 predstavljaju značajke automatizirane vožnje koje za rad koriste različite vrste senzora, navigacijskih uređaja i internetsku vezu. Sustavi kamera i radara se nalaze i na razini 1 i 2 te predstavljaju preduvjet za ostale više razine automatizacije. Mono i stereo kamere u kombinaciji s radarom pružaju identifikaciju značajki ceste (oznake, znakovi, itd.), precizno određivanje brzine i udaljenosti, obrube objekata te objekte u pokretu [18].

Arhitektura automatiziranih vozila na većim razinama automatizacije (3, 4 i 5) podijeljena je na percepciju okoline, planiranje i izvršenje pokreta. Odnosno, može se podijeliti na [9]:

1. Lokalizacija – pozicija vozila je određena odabranim navigacijskim sustavom te se primjenjuje podudaranje s kartom.
2. Prepoznavanje okoline – statične prepreke i dinamični objekti prepoznaju se korištenjem senzora dometa i senzora vidljivosti. Npr. semafor je dinamički element te se prepoznaje korištenjem senzora vidljivosti.
3. Predviđanje kretanja – buduća stanja objekta predviđaju se korištenjem digitalne karte i dinamičkim informacijama objekta.
4. Donošenje odluke – Ruta putovanja je izračunata uzimanjem u obzir prometna pravila, unaprijed definiranom digitalnom kartom i rezultatima prepoznavanja.
5. Generiranje trajektorije – Sigurne putanje su optimizirane uzimajući u obzir prometnu traku u kojoj se vozilo nalazi, statične i dinamične objekte.
6. Kontrola – Upravljanje, ubrzanje i usporavanje je kontrolirano unutar dobivene trajektorije.

U nastavku su navedeni i opisani neki od naprednih sustava pomoći vozaču.

3.2. Primjeri najpoznatijih naprednih sustava pomoći vozaču

Prilagodljiv tempomat - ACC (engl. *Adaptive Cruise Control*) jednostavan je inteligentni sustav koji omogućuje vozačima prilagodbu i održavanje brzine te udaljenosti od

vozila ispred bez stalne potrebe za prilagođavanjem brzine. ACC se temelji na ugrađenom radaru ili laserskom senzoru, koji daje upute vozilu da uspori u slučaju detektiranja drugog vozila. Sustav prilagodljivog tempomata sastoji se od radarskog senzora kretanja, digitalnog signalnog procesora i uzdužnog kontrolera. Sustav je integriran s motorom i s kočnicama vozila, tako da kada sustav otkrije vozilo u blizini, automatski usporava i dopušta da vozilo ponovno ubrza do zadane brzine kada je prostor ispred vozila slobodan. Takvi sustavi mogu automatski zaustaviti vozilo i zatim nastaviti putovanje npr. spora vožnja u koloni [12]. Sustav je prikazan na slici 7.

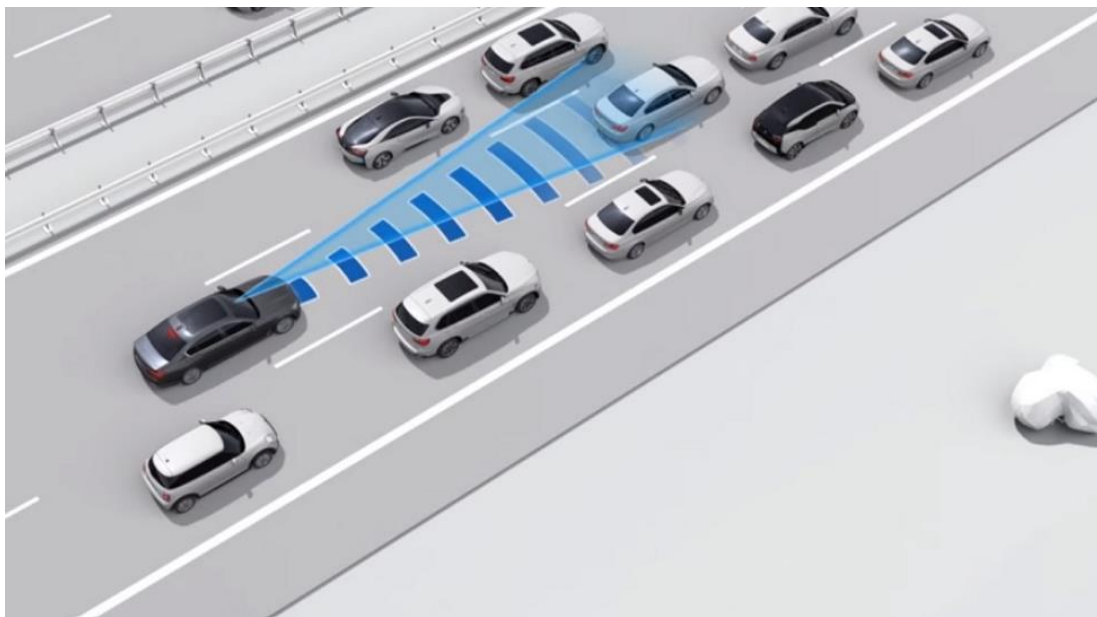


Slika 7: Prikaz ACC sustava

Izvor: [19]

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 sustavi su dizajnirani za pomoć vozaču pri održavanju bočnog položaja vozila - LCA (engl. Lane Change Assistant) ili LDW (engl. Lane Departure Warning) [20]. Sustavi upozorenja pri napuštanju trake pomažu vozačima da svoja vozila zadrže u prometnoj traci smanjujući tako mogućnost nastanka prometne nesreće. Sustavi generiraju audio-vizualna upozorenja u trenutku kada vozilo počne napuštati svoju prometnu traku bez prethodnog aktiviranja odgovarajućeg pokazivača smjera. Sustavi upozorenja o napuštanju trake koriste kameru postavljenu blizu retrovizora kako bi prepoznali oznake na kolniku [21]. S obzirom na to da se oslanjanju na optičko prepoznavanje, osjetljivi su na kvalitetu oznaka na kolniku i vremenske uvjete. LKS sustav predstavlja proaktivni sustav za upozoravanje vozača kada može započeti mijenjanje prometne trake, a osim toga može i okretati upravljač i tako kontrolirati smjer kretanja vozila te time smanjiti mogućnosti nastanka prometnih nesreća kod nedovoljne pažnje vozača.

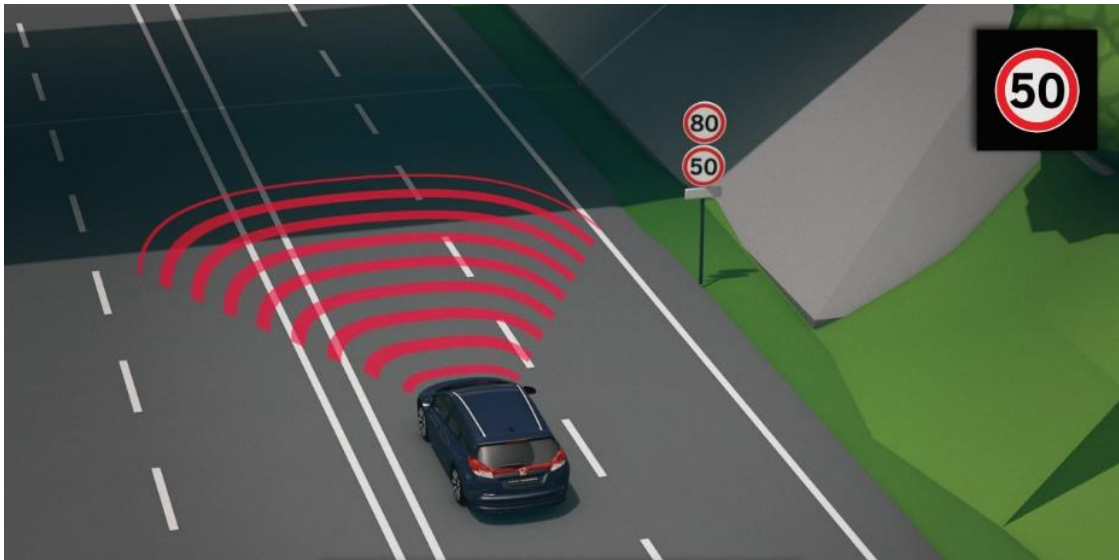
Sustav kontrole na sudar sprijeda - FCW (engl. *Forward Collision Warning*) sustav je upozorenja na mogući frontalni sudar, odnosno sustav namijenjen asistenciji vozaču u izbjegavanju i ublažavanju frontalnih sudara s bilo kojim drugim vozilom ili objektom na kolniku pomoću zvučnih, vizualnih i haptičkih upozorenja ili njihove kombinacije. Najnoviji sustavi upozorenja na sudar rade na radarskim, laserskim sustavima i kamerama te mjere udaljenost, smjer i relativnu brzinu između dva vozila (Slika 8). Neki od sustava upozorenja na sudar integrirani su s sustavima prilagodljivog tempomata za usporavanje brzine vozila kada se detektira bilo koje vozilo ispred.



Slika 8: Prikaz FCW sustava

Izvor: [22]

Sustav prepoznavanja prometnih znakova - TSR (engl. *Traffic Sign Recognition*) sustav je koji automatski detektira i prepoznaje prometne znakove u neposrednoj blizini vozačeve okoline. Na taj način pomaže vozačima pratiti prometnu signalizaciju i potiče ih na poštivanje propisanih prometnih pravila. Sustavi za prepoznavanje prometnih znakova u vozilu opremljeni su kamerama koje otkrivanju znakove na cesti te u kombinaciji s obradom slike, računalnim vidom i raznim algoritmima za prepoznavanje slika prepoznaje prometne znakove i prikazuje ih na *infotainmentu* koje vođač promatra pri vožnji (Slika 9).

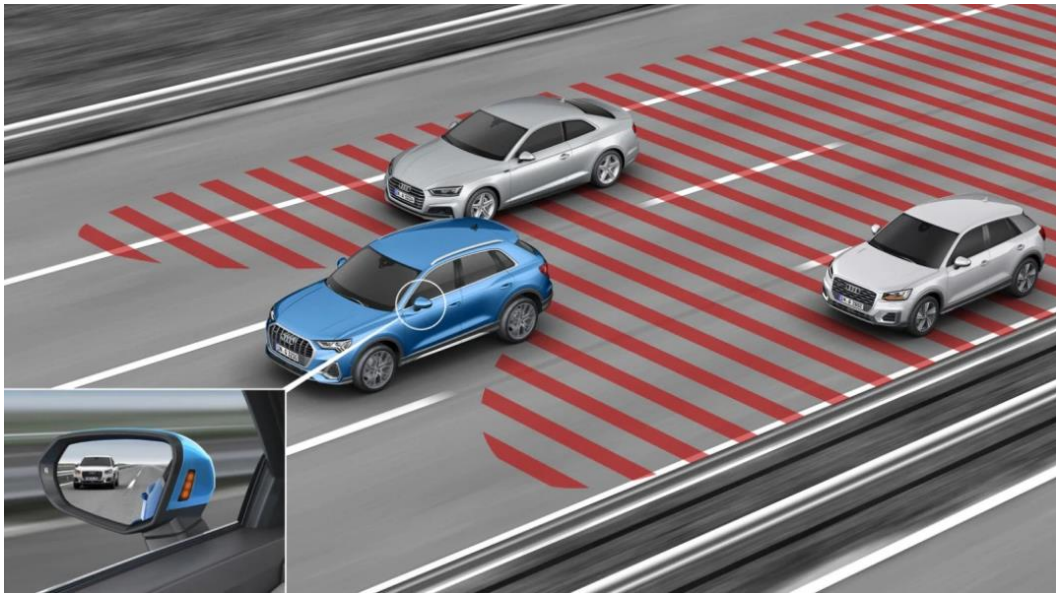


Slika 9: Prikaz TSR sustava

Izvor: [23]

Inteligentni sustav kontrole brzine - ISA (engl. *Intelligent Speed Adaptation*) je sustav koji obavještava i upozorava vozača o zakonskim ograničenjima brzine na kritičnim dijelovima ceste. Ograničenje brzine u vozilu postavlja se automatski s obzirom na to koliko je naznačeno ograničenje na određenoj dionici ceste. Sustav se temelji na GPS-u povezanim s digitalnim kartama ograničenja brzine kao i na sustavu prepoznavanja prometnih znakova. Postoje tri vrste ISA sustava. Informativni ili savjetodavni ISA sustav koji daje vozaču povratne informacije putem vizualnog ili zvučnog signala o trenutnim ograničenjima brzine. Podržavajući ili upozoravajući ISA sustav pri pritisku povećava otpor papučice gasa kako bi upozorio vozača na prekoračenje brzine. Intervencijski ISA sustav koji sprječava bilo kakvu brzu vožnju, na primjer, smanjenjem ubrizgavanja goriva ili slanjem zahtjeva vozaču da li zaista želi prekoračiti ograničenje brzine [24].

Sustav za nadzor mrtvog kuta - BSD (engl. *Blind Spot Detection*) ili BSW (engl. *Blind Spot Warning*) sustav je koji služi otkrivanju predmeta unutar mrtvog kuta nadziranjem područja pokraj vozila kao što je prikazano na slici 10. Funkcija sustava za otkrivanje mrtvog kuta upozoriti je vozača zvučnim ili vizualnim signalom u slučaju ako je drugo 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 gustom prometu.



Slika 10: Prikaz BSD sustava

Izvor: [25]

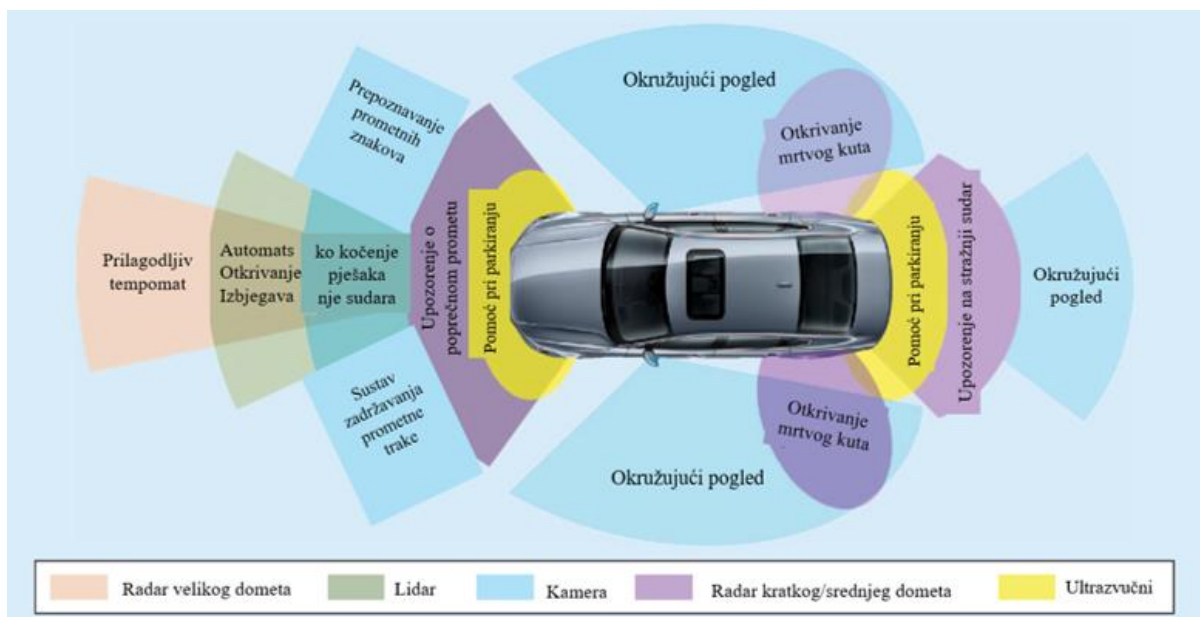
Sustav automatskog kočenja - AEB (engl. *Automatic Emergency Brake*) automatska je kočnica u nuždi ili upozorenje na sudar s automatskom kočnicom. To je inteligentan i složen sustav koji ima mogućnost automatskog primjenjivanja snage kočenja bez intervencije vozača. Navedeni sustav kontinuirano nadgleda 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 vozila koriste se senzori kratkog dometa ili radarski senzori velikog dometa. Podaci navedenih senzora tumače se u upravljačkoj jedinici kako bi se mogle poduzeti odgovarajuće radnje [12].

4. SUSTAVI PREPOZNAVANJA OZNAKA NA KOLNIKU I PROMETNIH ZNAKOVA

Ispravan i točan rad naprednih sustava za pomoć vozaču koji prepoznaju oznake na kolniku i prometne znakove omogućuje nekoliko senzora ugrađenih u vozila koji su u nastavku opisani.

4.1. Senzori koji su ugrađeni u vozila

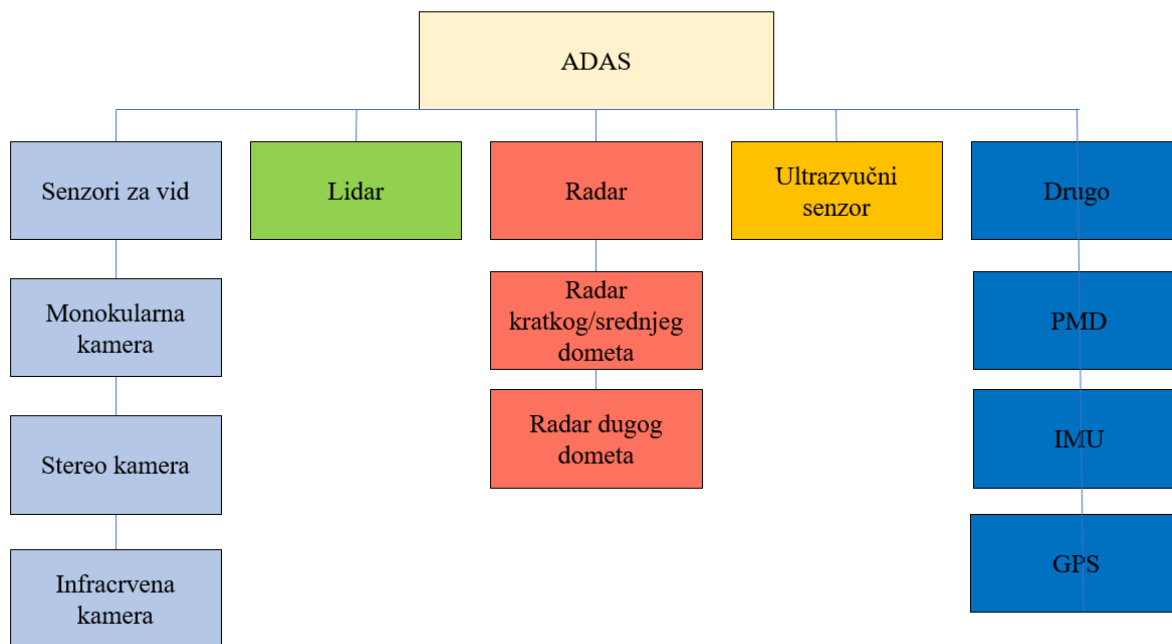
Senzori su hardverske komponente koje prikupljaju podatke o okolini u kojoj se vozilo nalazi. Na osnovu rezultata koje prikupe senzori donose se odluke poput promjene prometne trake, usporavanja ili ubrzavanja. Automatizirana i autonomna vozila kombiniraju podatke s različitih senzora kako bi mogli percipirati svoju okolinu. Neki od senzora koji se koriste su: kamera, radar, lidar i ultrazvučni senzori. Napredni sustavi pomoći vozaču koriste informacije sa senzora da bi se orijentirali, odredili putanje kretanja, odredili udaljenost i uočili moguće prepreke [6]. Na slici 11 prikazana je pozicija svakog senzora na vozilu, odnosno područje oko vozila koje pokriva pojedini senzor te je naveden ADAS sustav koji ga koristi u radu.



Slika 11: Prikaz pozicije senzora, područja oko vozila koje prekriva te ADAS sustava koji ga koristi

Izvor: [26]

Spomenuti senzori mogu se podijeliti na više vrsta, ovisno o vrsti i načinu rada te je ta podjela prikazana na slici 12.



Slika 12: Podjela senzora korištenih u ADAS-u

Izvor: [27]

LiDAR (*engl. Light Detection And Ranging*) senzor koji se još naziva i optički radar, a sastoji se od odašiljača, ogledala i prijemnika. Svoj rad temelji na mjerenju vremena koje je potrebno svjetlosti, emitiranoj iz odašiljača da se odbije od elemenata u okolini i zatim detektira u prijamniku. Montira se na krov vozila na cilindrično kućište koje se okreće za 360 stupnjeva i kartira 3D prikaze okoline. Odašiljač šalje lasersku zraku koja se odbija od zrcala koje se okreće zajedno s cilindričnim kućištem pri 10 okretaja u minuti. Nakon odbijanja od objekata, laserski snop se vraća u ogledalo i odbija natrag prema prijemniku, gdje se dobiveni podaci unose u računalo koje generira 3D preciznu kartu okruženja. Lidar ima kraći domet od radara, a valna duljina laserske zrake je 850 ili 900 nm odnosno u infracrvenom ili bliskom infracrvenom rasponu [12].



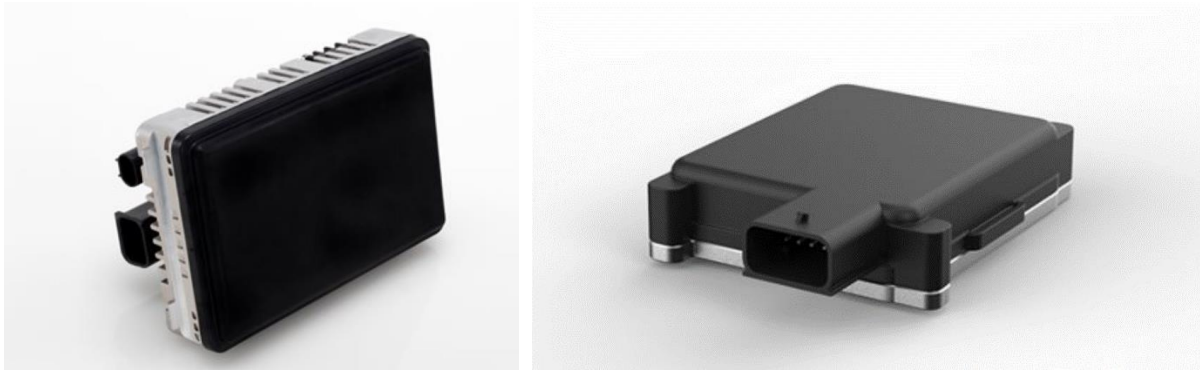
Slika 13: LiDAR senzor

Izvor: [12]

RADAR (engl. *Radio Detection And Ranging*) je senzor koji koristi elektromagnetske valove kako bi detektirao udaljenost i brzinu statičnih i objekata u pokretu. Radar radi na način da odašilje elektromagnetske valove koji se potom reflektiraju od površine objekta, a radarska antena prikuplja povratno raspršeni signal. Vrijeme između odašiljanja i primanja odbijenog elektromagnetskog vala, zajedno s poznatom brzinom valova, pruža precizno određivanje udaljenosti i brzine objekta od radara, odnosno vozila. Radar, u usporedbi s lidarom, koristi veću valnu duljinu i nižu energiju signala ali ne može detaljno opisati izgled i oblik skeniranog prostora kao lidar. Radar skenira cestu ispred vozila do udaljenosti od približno 200 metara. Neka vozila koriste dva radara s različitim dometima i kutom promatranja okoline, te se prema tome može podijeliti na [12]:

- Radar kratkog dometa i širokog kuta (do 50 m, 130 stupnjeva)
- Radar srednjeg dometa i širokog kuta (do 100 m, više od 30 stupnjeva)
- Radar dugog dometa i uskog kuta (više od 100 m, manje od 20 stupnjeva)

Primjena radara za vozila, tzv. automobilske radari bitno se razlikuje od tradicionalnih radarskih sustava budući da se oni koriste u masovnoj proizvodnji vozila te su ograničeni u veličini, snazi i cijeni. U vozilu su radari postavljeni tako da pokrivaju cijelo prednje i zadnje područje vozila, odnosno prednji i stražnji branik. Radar detektira objekte u okruženju, a središnje računalo kombinira ovaj rezultat s rezultatima lidar sustava. Većina radara radi u rasponu od približno 77 GHz [6,12].



Slika 14: RADAR senzor

Izvor: [28]

US (engl. *Ultrasonic sensor*) ultrazvučni senzori su sustavi slični radaru osim što oni za svoj rad koriste odbijanje ultrazvučnog vala kako bi odredili udaljenosti objekta na relativno bližoj udaljenosti. Drugim riječima, ultrazvučni senzori mjere udaljenost šaljući zvučni val specifične frekvencije te mjeri vrijeme povrata vala. U automobilske industriji koriste se zvučni pretvarači za odašiljanje zvučnih signala u rasponu od 40 kHz do 70 kHz. Navedeni raspon frekvencije je iznad ljudskog čujnog raspona što ga čini sigurnim za ljudski sluh. Montiraju se na različite strane vozila za otkrivanje objekata u blizini vozila ili mjerenje položaja drugih vozila tijekom parkiranja. Ovi senzori pružaju pomoć pri parkiranju, upozorenje na sudar, napuštanje prometne trake i slično [6, 12].



Slika 15: Ultrazvučni senzor

Izvor: [12]

Kamere su senzori koji su se prvi počeli primjenjivati u vozilima te se danas najviše koriste za rad naprednih sustava pomoći vozaču. ADAS se oslanja na kamere kako bi točno

detektirao i klasificirao druga vozila, pješake, prepreke, prometne znakove, oznake na kolniku i drugo. Informacije dobivene pomoću kamere mogu se brzo obraditi računalnom podrškom, nakon čega se može automatski reagirati na tijek vožnje sustavom za kočenje ili zakretanjem volana. Instalirane su na vrhu vjetrobranskog stakla, u blizini retrovizora i daju prikaz ceste ispred vozila u stvarnom vremenu.

Prema elektromagnetskom spektru većina kamera se može klasificirati kao vidljiva (VIS – engl. *Visible camera*) ili infracrvena (IR – engl. *Infrared camera*) kamera. VIS kamere, (mono ili stereo kamere) su osjetljive na valne duljine koje se kreću od 400 do 780 nm, a mogu se koristiti kako bi efektivno kartirale okolinu i potencijalne opasnosti u njoj [6]. Monokularne kamere imaju samo jedan objektiv. Takvi sustavi imaju samo jednu izlaznu sliku, imaju niske zahtjeve za obradom slike u usporedbi sa stereokamerama. Također, osim praćenja okoline izvana mogu se koristiti i za praćenje vozača u vozilu, npr. za detekciju lica i očiju i analizu položaja glave. S druge strane, slike dobivene monokularnom kamerom nemaju dubinske informacije i stoga se ne mogu koristiti za procjenu udaljenosti. Stereo kamere sadržavaju dva ili više objektivna te se od njih mogu dobiti trodimenzionalni prikazi okoline. Način na koji se dobiva informacija od udaljenosti objekta od kamere je slična kao i kod ljudskog oka. Uz pomoć stereo parova (slike jedne scene iz stereo kamere) te poznate udaljenosti između objektivna kamere moguće je izračunati udaljenost između objekta i kamere. Koriste se za prepoznavanje prometnih znakova, prometnih traka, pješaka, prepreka i procjenu udaljenosti sa većom točnošću nego monokularne kamere.

IR kamere dijele se na dva tipa: pasivne i aktivne. Pasivne IR kamere prikazuju scenu u infracrvenom spektru. Rade na istom principu kao i „normalne“ kamere samo što je spektar u koje snimaju infracrveni, a ne vidljivi. Aktivne IR kamere s druge strane imaju svoj izvor IR svjetlosti kojom obasjavaju scenu te zabilježe rezultat. Razlika između aktivnih i pasivnih kamera može se predočiti i korištenjem umjetnog osvjetljenja kod snimanja, ako se koristi umjetno osvjetljenje npr. svjetla automobila, onda je kamera aktivna. Pasivne kamere se još nazivaju i termalne kada snimaju u infracrvenom dugovalnom spektru. Kako se toplinska energija manifestira isijavanjem zračenja u tom spektru kamere koje snimaju u tom spektru se nazivaju termalne.

Od svih navedenih senzora, kamere su najsličnije ljudskom vidu iz razloga što sustavi kamera, kao ni ljudsko oko, ne mogu direktno osjetiti relativnu brzinu promatranih objekta te mogu biti osjetljive na bliještanje pri niskom kutu sunca (zalazak sunca ili svitanje), obilne oborine i maglu koja smanjuje vidljivost. Iz tog razloga se često koriste u kombinaciji s

radarima gdje nadopunjuju ograničenu radarsku kutnu vidljivost i kraći domet. Uglavnom se koriste zbog niske cijene, visoke rezolucije i sposobnosti razlikovanja boje. Međutim, čak i u sustavu stereoskopskih kamera, procijenjene točnosti dubine niže su od onih dobivenih od aktivnih daljinomjera kao što su radari i lidari [6, 27].



Slika 16: Monokularna i stereo kamera

Izvor: [12]

Prema podjeli sa slike 12, ostale bitne komponente u vozilu koje omogućuju pravilan rad sustava su:

GNSS (*engl. Global Navigation Satellite System*) je najšire korištena tehnologija koja pruža točnu informaciju o poziciji na zemljinoj površini. Najpoznatiji GNSS je GPS, odnosno globalni pozicijski sustav u vlasništvu Sjedinjenih Američkih Država koji korisnicima pruža pozicioniranje, navigaciju i usluge mjerenja vremena. Princip rada GNSS-a je da prijammnik locira najmanje četiri satelita, izračuna udaljenost do svakog od njih te tu informaciju koristi za identifikaciju vlastite lokacije pomoću procesa koji se naziva trilateracija. Kako bi se poboljšala točnost trenutnih sustava pozicioniranja na vozilima, podaci iz satelita se spajaju s podacima s drugih senzora vozila (npr. inercijska mjerna jedinica, lidari, radari i kamere) za postizanje pouzdanih informacija o položaju [6].

Inercijska mjerna jedinica (IMU – *engl. Inertial measurement unit*) je elektronički uređaj koji mjeri i daje informacije o brzini vozila, orijentaciji, gravitacijskim silama itd. Jedinica pomaže GPS sustavu u radu kada signali nisu dostupni, poput tunela, loših vremenskih uvjeta i kada su prisutne elektromagnetske smetnje. CPU (*engl. Central Processing Unit*) ili središnje računalo je vrlo snažna procesorska jedinica montirana unutar vozila koja dobiva sve podatke iz senzora te ih obrađuje velikom brzinom. Uz pomoć visoko sofisticiranog softvera donosi potrebnu odluku i šalje izlaz elektro-mehaničkim jedinicama poput automatskog upravljanja, sustava za ubrzavanje i kočenje. CPU i GPS su spojeni na internet radi pružanja

praćenja i ažuriranja u stvarnom vremenu. PMD (engl. *Photonic Mixer Device*) se odnosi se na senzor koji omogućuje brzo optičko očitavanje i demodulaciju nekoherentnih svjetlosnih signala istovremeno [27].

U većini slučajeva, samo jedan senzor ne može dati sve potrebne informacije za potpunu autonomiju vozila pa se iz tog razloga koristi više senzora (engl. *Sensor fusion*) kako bi se što bolje kombinirale dobivene informacije iz okoline. Arhitektura takve kombinacije senzora uključuje tri različite razine [29]:

1. Razina senzora – dva ili više detektora su spojena u jednu hardversku jedinicu
2. Razina zadatka – značajke iz svakog senzora su izvučene i objedinjene
3. Razina odluke – rezultat je izračunat kombinacijom individualnih odluka

4.2. Princip rada sustava za uočavanje i prepoznavanje prometnih znakova i oznaka na kolniku

U ovom poglavlju biti će predstavljeni način prikupljanja informacija iz okoline i njihova obrada uz pomoć prethodno opisanih senzora koji omogućuju funkcioniranje sustava prepoznavanja oznaka na kolniku i prometnih znakova.

a) Uočavanje i prepoznavanje prometnih znakova

Uočavanje i prepoznavanje prometnih znakova provodi se kroz tri faze, a to su detekcija, praćenje i klasifikacija. Detekcija se odnosi na lociranje u slici okoline, a klasifikacija je odlučivanje o kojem se tipu znaka radi. Cijeli proces opisan je u nekoliko koraka [27]:

Prvi korak je dobivanje slike, odnosno proces izdvajanja kadrova (engl. *frames*) iz videozapisa. Kadrovi su matrice piksela gdje svaki kadar sadrži tri kanala informacija, odnosno crvene, zelene i plave (engl. *Red, Green, Blue - RGB*) matrice piksela. Uobičajeni broj kadrova u sekundi (engl. *Frames per Second - fps*) za ADAS sustave je pet do 60 sličica u sekundi ovisno o primjeni. Odnosno, za detekciju blizine drugog vozila potreban je veći broj kadrova zbog brze promijene udaljenosti vozila na cesti, dok se za detekciju prometnih znakova koristi manji broj kadrova.

Slijedeći korak je predobrada slike koju će nakon toga koristiti algoritmi računalnog vida (engl. *Computer vision*). Potrebno je primijeniti postupke obrade kao što su uklanjanje šuma, poboljšanje boja, pretvorba boja, stabilizacija slike, otklanjanje neželjene sjene te ispravljanje prekomjerne ili nedovoljne ekspozicije.

Segmentacija je treći korak i odnosi se na odvajanje značajki iz kadrova. Odnosno pri analizi slike odvajaju se prepoznati elementi kao što su primjerice nebo i cesta kao dva zasebna objekta. Razvijeno je mnogo metoda za izdvajanje jedne klase piksela od druge (npr. cesta i nebo). Jedna od metoda koristi informacije o boji kako bi izdvojila određene objekte, primjer bi bio izdvajanje piksela crvenih tonova iz slike te tako isticanje znaka stop. Izdvojenim pikselima će se dodijeliti vrijednosti bijele boje, dok ostali pikseli dobivaju vrijednost crne boje kao što je prikazano na slici 17.



Slika 17: Detekcija prometnog znaka

Izvor: [27]

Četvrti korak je detekcija objekta i njegovo praćenje (utvrđivanje da li je objekt ispred vozila drugo vozilo, pješak ili prometni znak) te predviđanje njihovog kretanja. Najčešće korišteni algoritmi strojnog učenja su konvolucijske neuronske mreže (engl. *Convolutional Neural Network* - CNN). Zadaća detekcije je locirati prometni znak i odrediti njegovu veličinu. Kada neuronska mreža pronađe u kadru značajke za koje predviđa da pripadaju prometnom znaku, detektirani objekt prosljeđuje dijelu sustava koji je zadužen za klasifikaciju.

Peti korak je procjena dubine, tj. procjena udaljenosti od objekta u okviru slike u odnosu na kameru. Može se koristiti stereo kamera za stvaranje stereopara kako bi se dobila karta dubine i 3D oblak točaka koji daje rekonstrukciju scene oko vozila. Drugi način je korištenje

monokularne kamere i nekoliko najsuvremenijih tehnika, npr. kalibracija, tehnike najmanjih kvadrata i podskup optičkih protoka.

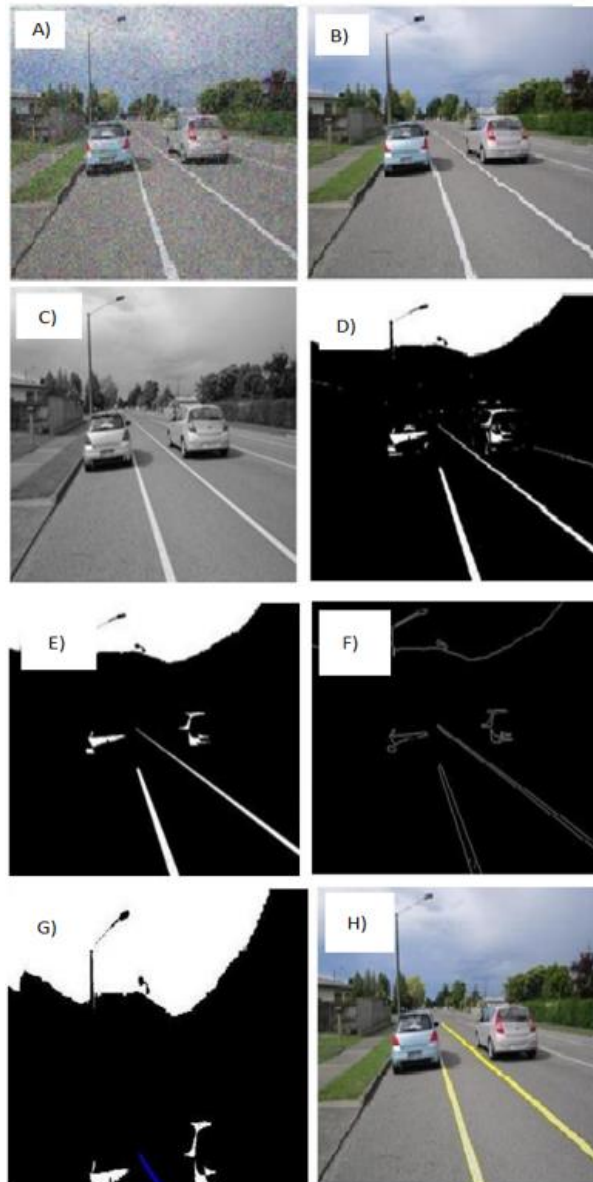
Posljednji korak je kontrola sustava koja predstavlja interpretaciju informacija iz prethodnih koraka te temeljem tih informacija vozač može prilagoditi svoje ponašanje i upravljanje vozilom propisanim uvjetima. Kod naprednijih ADAS sustava i autonomnih vozila, sustav može sam donijeti odluku o idućoj reakciji i učiniti što je potrebno da prilagodi vozilo pravilima uvjetovanim prepoznatim prometnim znakovima [27].

b) Uočavanje i prepoznavanje oznaka na kolniku

Još jedna bitna i često korištena značajka ADAS sustava je zadržavanje vozila unutar prometne trake. Međutim, oznake na kolniku su jedne od najtežih elementa za otkrivanje i praćenje zbog njihove nekonzistentnosti ili istrošenosti. Sama detekcija prometne trake je osnova za ostale ADAS funkcije kao npr. prilagođavanje brzine, ubrzavanje ili kočenje.

Detekcija prometne trake se uglavnom sastoji od pronalaska određenog uzorka poput oznaka linija na cesti, a slika se kontinuirano dohvaća s kamere montirane na prednjoj strani vozila. Kao i kod detekcije prometnih znakova, potrebno je predobraditi sliku, tj. ukloniti ili smanjiti nepotrebne šumove. Nakon toga je potrebno prepoznati regiju od interesa (engl. *Region Of Interest* – ROI) na ulaznoj slici gdje se nalazi prometna traka. Na temelju dobivene regije od interesa može se zaključiti gdje se točno nalazi vozilo kako bi se moglo aktivirati upozorenje vozača u slučaju napuštanja vozne trake. Sama detekcija se zasniva na detekciji uzdužnih kolničkih oznaka koje omeđuju voznu traku. Trenutne metode za detekciju oznaka koriste Cannyjevu transformaciju kako bi pronašli rubove na slici te se lako prepoznaje smjer detektiranih rubova, uklanja veliki broj nebitnih rubova, dok promatrani objekt ostaje lako prepoznat. Kada su rubovi pronađeni koristi se Houghova transformacija kako bi se točno odredio smjer prometnih traka. U procesu prikupljanja informacija vrši se i njihova obrada. Obrada slike uključuje razne korekcije prikupljene slike (npr. korekcija ekspozicije, uklanjanje sjene) i izdvajanje pojedinih značajki [27, 30].

Na slici 18 prikazan je proces detekcije oznaka na kolniku. Slika a) prikazuje ulaznu sliku, dok slika b) predstavlja filtriranu verziju ulazne slike. Na slici c) filtrirana slika pretvara se u sive sjene radi smanjenja vremena obrade, nakon čega se slika segmentira u binarnu sliku (slika d) kako bi se omogućilo lociranje oznake na snimljenoj slici. Slika e) predstavlja izgladenu sliku, a slika f) prikazuje otkrivene rubove na slici. Slika g) prikazuje izgladenu sliku i na kraju je izlazna slika predstavljena na slici h) [30].



Slika 18. A) Ulazna slika; B) Filtrirana slika; C) Slika u sivim tonovima; D) Binarna slika; E) Izgladena slika; F) Slika prepoznatih rubova; G) Izgladena slika; H) Izlazna slika

Izvor [30]

Podaci koji dolaze od različitih senzora moraju se promatrati kao cjelina te se razmjena informacija između senzora obavlja pomoću interne mreže, kao što je CAN sabirnica. Senzor slike mora nabaviti slike okoline na rezolucijama i brzinama snimanja prikladnim za detektiranje problema. Također, osim toga potrebne su i metode obrada slika. Kako bi se poboljšale performanse senzora u smislu obrađenih frame rate per second (fps) koriste se hardverski akceleratori povezani sa senzorom slike. Akceleratori su uglavnom posvećeni filtriranju dolaznih slika iz senzora te slanjem jedinica za obradu samo prikupljene važne podatke [30].

5. PREGLED ISTRAŽIVANJA

Kao što je već prethodno navedeno ispravan rad naprednih sustava pomoći vozaču i njihovih senzora važna je mjera kojom se nastoji smanjiti prometne nesreće. Međutim, ispravan rad senzora u velikoj mjeri ovisi o faktorima koji utječu na vidljivost oznaka na kolniku i prometnih znakova, kao što mogu biti vremenski uvjeti. U ovom poglavlju dan je pregled istraživanja utjecaja otežanih uvjeta vidljivosti (kiša, magla i jako osvjetljenje) na kvalitetu detekcije naprednih sustava pomoći vozaču i u kojoj mjeri razvoj i treniranje algoritama koje koriste određeni ADAS sustavi utječe na poboljšanje detekcije u otežanim vremenskim uvjetima.

5.1. Pregled istraživanja kvalitete detekcije oznaka na kolniku

U istraživanju [32] ispitivao se utjecaj vremenskih uvjeta kao što su kiša i različito osvjetljenje (sumrak i izlazak sunca) na rad sustava upozorenja o napuštanju trake (engl. *Lane Departure Warning - LDW*) sustava u vozilima koji se baziraju na prepoznavanju slike. Mjerilo koje se promatralo bila je stopa učinkovitosti - ER (engl. *Efficacy Rate*) koja je definirana kao omjer broja slučaja u kojima je LDW izdao alarm o napuštanju trake i broja svih ukupnih prijelaza preko oznake na kolniku. Drugo mjerilo bio je broj svih slučaja po milji prijeđenog puta u kojima testno vozilo ne prijeđe oznake na kolniku, a sustav izda alarm o prelasku. Mjera je nazvana lažni alarm - FA (engl. *False Alarm*)

Ispitivanje se provodilo Sjedinjenim Američkim Državama, na autocesti u Floridi u oba smjera vožnje te je ukupna duljina testne dionice iznosila oko 320 km. Desne (bijeले) i lijeve (žute) linije su tijekom testiranja namjerno prijeđene nekoliko puta te se promatrala aktivnost sustava LDW na temelju ER i FA parametra spomenutih ranije. Svaka vrsta linije na kolniku prijeđena je 10 puta na jednu milju. Testiranje se provodilo za vrijeme kišnih uvjeta te su kategorije oborina svrstane u tri: manja količina kiše (6 mm/h), srednja (13 mm/h) i jaka kiša (20 mm/h).

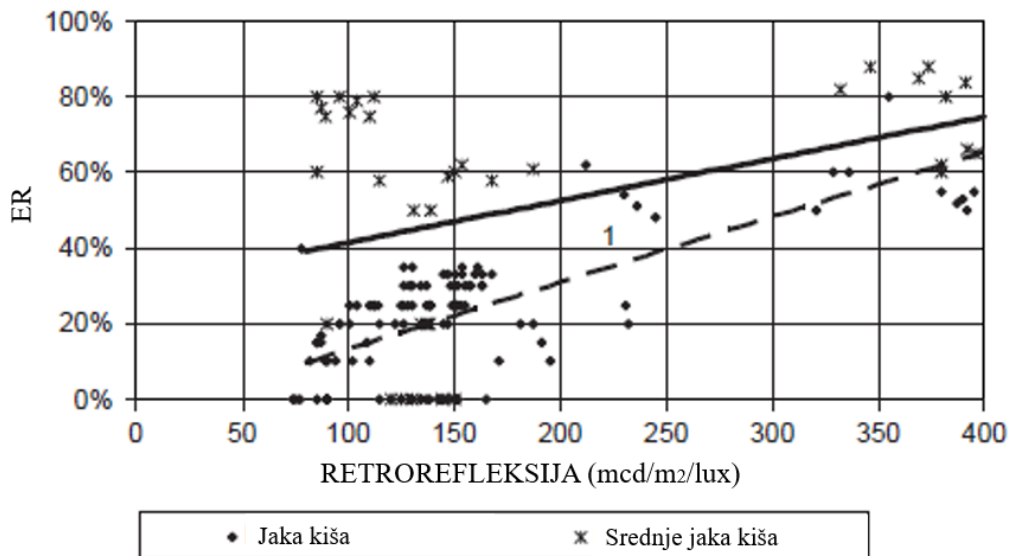
Rezultati istraživanja u dnevnim uvjetima su prikazali da u većini slučajeva stopa učinkovitosti sustava pod uvjetima lagane i srednje kiše i jakog osvjetljenja na većini sekcija bila 100 %. Izuzev dionice na kojoj je ER žute linije u oba smjera iznosila 0 % do 40 % zbog lošijih retroreflektirajućih svojstva oznake na kolniku. Naime, oznaka je imala 102 mcd/m²/lx, a minimalna propisana iznosi 150 mcd/m²/lx. U ovom slučaju je problem bio loš kontrast između oznaka na kolniku i asfalta.

U slučaju jake kiše u dnevnim uvjetima rezultati ER su iznosili 100 % u većini slučajeva. U određenim slučajevima kada je kiša bila ekstremno jaka i vidljivost je pala ispod prihvatljivih granica ER za žutu liniju se snizila samo 10 do 15 %. S druge strane, ER desne bijele linije i isprekidane linije bila je 100 % u svim dnevnim-jaka kiša testiranjima.

Lažni alarmi (FA) aktivirani su tijekom i nakon jake kiše iz razloga što je senzor detektirao određena mjesta na cesti koja su imale lokve vode kao oznaku na kolniku. Procijenjeno je da je tokom tih uvjeta broj lažnih alarma iznosio 0,5 i 1 alarm na milju prijeđenog puta.

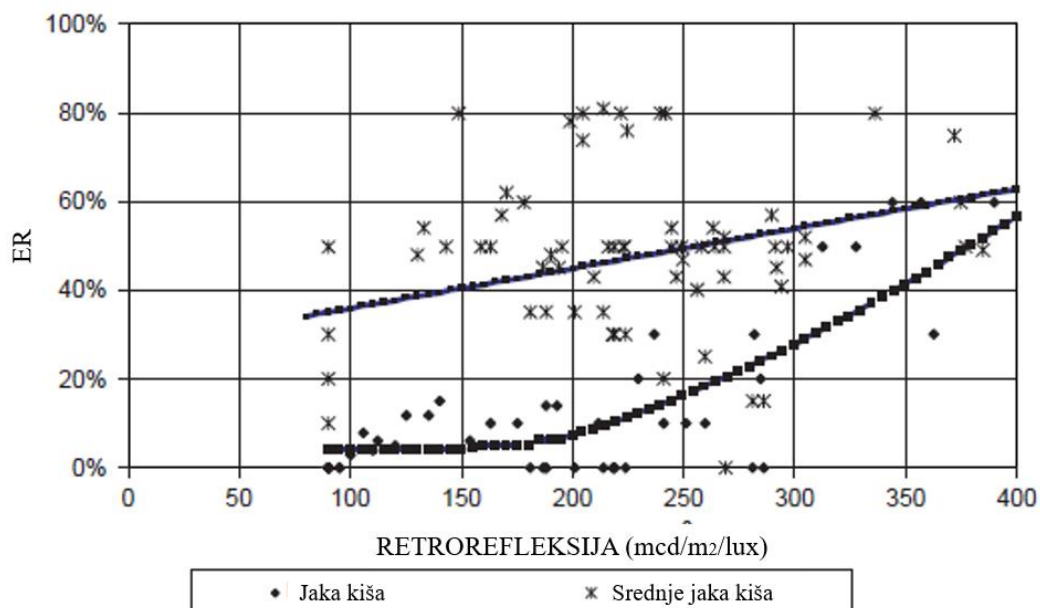
Lažni alarmi nisu promatrani u tim uvjetima. U noćnim uvjetima slabih i srednjih oborina stopa učinkovitosti iznosila je 100 %, osim na dijelu segmenta gdje su bili radovi te su žute oznake na kolniku bile lošije iznosila je između 0 % i 40 %.

Od svih provedenih ispitivanja, glavno smanjenje stope učinkovitosti bilo je tijekom srednjih i jakih oborina u noćnim uvjetima. Grafikon 1 i 2 prikazuju odnos retorefleksije i stope učinkovitosti LDW sustava za žute i bijele oznake na kolniku za vrijeme srednjih i jakih oborina. Vidljivo je da tijekom uvjeta jake kiše ER žute linije bila između 0 i 60 % sa većinom mjerenja ispod 30 %. Za srednju jačinu kiše vrijednosti ER varirale su između 0 i 80 % sa većinom očitavanja oko 20 % i 60 %. Varijacija stope učinkovitosti bila je veća za srednju količinu oborina nego za jake oborine, za srednju kišu ER je bila niža kada je mjerenje napravljeno nakon dužeg perioda kiše te je oznaka bila prekrivena vodom, ukoliko je mjerenje napravljeno kada je tek počela padati kiša oznaka nije još bila prekrivena vodom te je ER iznosila visokih 60 do 80 %. Iz Grafikona 1 i 2 može se primijetiti da je uglavnom stopa učinkovitosti veća za oznake na kolniku koje imaju višu vrijednost retrorefleksije.



Grafikon 1: Odnos između stope učinkovitosti i retrorefleksije žutih oznaka na kolniku za vrijeme noćnih uvjeta

Izvor: [32]



Grafikon 2: Odnos između stope učinkovitosti i retrorefleksije bijelih oznaka na kolniku za vrijeme noćnih uvjeta

Izvor: [32]

U [33] testirao se rad kamera u vozilima, a testiranje se provodilo u laboratorijskim uvjetima u najvećem svjetskom klimatskom zračnom tunelu u Austriji. Tunel je dugačak 100

m, širine od 4,9 do 5,6 m, a visine 5,9 do 6,2 m. Unutar njega je moguće simulirati različite vremenske uvjete, npr. temperature od -45 do 60 stupnjeva, brzinu vjetra do 300 km/h, snijeg, led, kišu, maglu, itd. Istraživanjem se obuhvatilo četiri intenziteta kiše (0, 15, 50 i 80 dm³/h), četiri intenziteta vjetra (0, 10, 30 i 60 km/h) i četiri intenziteta magle (0, 5, 10 i 25 %). Uvjeti osvjetljenja testirali su se osvjetljenjem s krova tunela, kako bi se simulirali uvjeti dana ili noći, zatim osvjetljenje straga kako bi se simuliralo svjetlo drugog prilazećeg vozila i standardno osvjetljenje svijetla automobila koje se nalazi 0,65 m od tla.

U testiranju su korištene tri kamere koje su varirale u dinamičkom rasponu (omjer između najsvjetlijeg i najtamnijeg dijela slike, 70 i 140 dB) i brojem piksela (1,3, 2,3 i 3,1 milijun; Mpx). Rezultat dobiven kamerama evaluiran je kroz mjeru CR (engl. *Contrast Ratio*) prikazanoj na Formuli 1 gdje je L sjajnost oznake, a Lb je sjajnost pozadine. (Formula 1)

$$CR = \frac{L-Lb}{Lb} \quad (1)$$

Analiziralo se osam vrsta oznaka na kolniku koje su se razlikovale u vrsti korištenog materijala, boji i staklenim mikrokuglicama. Korištena je i siva boja kako bi se imitirala istrošena i izbledjena oznaka na kolniku. Sa slike 19 vidljiva je izvedba testiranja, oznake su bile na crnom panelu, dugačke 6 m, širine 0,15 m i udaljenosti 0,15 jedna od druge. Panel je postavljen da imitira nagib ceste od 2 %. Također u tablici 2 prikazane su vrste materijala korištene za oznake, njihove odabrane skraćenice te vrijednosti RL za noćnu vidljivost, Qd za dnevnu vidljivost i RW koja predstavlja vrijednost izmjerenu 10 minuta nakon testa na mokrim pločama. Udaljenost između senzora i oznaka na kolniku bila je 10 metara.

Tablica 2: Opis i svojstva testiranih oznaka

Skraćenica za materijal	Oznaka na kolniku	Boja	Mikrokuglice	RL	Qd	RW
T	Traka	Bijela	Unutar trake, visoki indeks	392	259	80
KP	Hladna plastika	Bijela	Standardne	285	231	75
KP+	Hladna plastika	Bijela	Premium	648	235	135
P	Boja	Bijela	Standardne	116	273	54
P+	Boja	Bijela	Standardne 70 % i Premium 30 %	388	265	72
P-GY	Boja	Siva	Standardne	59	-	35
P-OR	Boja	Narančasta	Premium	152	109	63
T-YL	Traka	Žuta	Unutar trake, visoki indeks	355	187	120

Izvor: [33]



Slika 19: Klimatski zračni tunel s testiranim oznakama

Izvor: [33]

Prosječan CR preporučen za prepoznavanje oznaka na kolniku računalnim vidom u ostalim studijama je $CR > 2$ te je prema tome testiranje pokazalo da u suhim uvjetima CR je dovoljan na svim oznakama na kolniku. Slabije rezultate je zabilježila kamera sa visokim dinamičkim rasponom u dnevnim uvjetima ali se povećala pri noćnim uvjetima, što sugerira potrebu za povećanjem kontrasta u dnevnim uvjetima kako bi očitavanje bilo bolje. Utjecaj svjetla stražnjeg vozila u noćnim uvjetima smanjio je vrijednosti CR-a za 30-34 %. Viši CR

zabilježen je na oznakama s Premium mikrokuglicama pri mjerenju R_L , dok je Q_d slično visok za sve bijele oznake na kolniku. Narančasta boja je imala najniži CR. Rezultati su prikazani u tablici 3.

Tablica 3: CR u suhim uvjetima; razna osvjetljenja

Rasvjeta		Kamera		Skracénica za materijal						
Osvjetljenje	Prednje svjetlo	Dinamički raspon	Veličina matrice	T	KP	KP+	P	P+	P-GY	P-OR
Dan	Ugašeno	140 dB	1,3 MPx	0,6	0,4	0,7	0,2	0,3	0,2	0,1
Dan	Ugašeno	70 dB	2,3 MPx	1,7	1,8	2	2,3	2,3	2,1	1,2
Dan	Ugašeno	70 dB	3,1 MPx	2,4	2,3	2,4	2,7	2,7	2,4	1,6
Noć	Upaljeno	140 dB	1,3 MPx	4,9	4,2	5,6	3,8	5,3	2,7	3,9
Noć	Upaljeno	141 dB	1,3 MPx	3,4	2,8	3,9	2,5	3,7	1,8	2,6
Prosječan CR za oznake na kolniku				2,6	2,3	2,9	2,3	2,9	1,9	1,9
Promjena CR-a nakon primjene stražnjeg osvjetljenja drugog vozila				-31 %	-33 %	-30 %	-34 %	-30 %	-33 %	-33 %

Izvor: [33]

U uvjetima kiše je CR pao čak 80 %, niti jedna oznaka na kolniku od ispitanih nije mogla pružiti dovoljan CR za kamere. Interval CR-a iznosio je između 0,2 – 1,0. Najbolje rezultate su dale reljefne oznake na kolniku dizajnirane za bolju odvodnju oborina s oznaka, a to su trake (T) i hladna plastika (KP+). Iz tablice 4 vidljiva je velika razlika u vrijednostima zbog izbora mikrokuglica ako se usporede KP i KP+. Premium mikrokuglice su dale duplo veći CR od standardnih. Ništa bolje rezultate nisu dale P i P+, vjerojatno zbog nakupljanja vode na površini oznake. Najlošiji rezultat je dao P-OR (Narančasta).

Tablica 4: CR u kišnim uvjetima; sva osvjetljenja

Kamera		Skracenica za materijal								
Dinamički raspon	Veličina matrice	T	KP	KP+	P	P+	P-GY	P-OR	T-YL	Prosječni CR
140 dB	1,3 MPx	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
70 dB	2,3 MPx	0,7	0,5	1	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6
70 dB	3,1 MPx	0,5	0,4	0,8	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5
Prosječan CR u svim suhim uvjetima		2,6	2,3	2,9	2,3	2,9	1,9	1,9	2,1	2,3
Prosječan CR u svim mokrim uvjetima		0,5	0,4	0,8	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5
Promjena CR-a nakon primjene kiše u usporedbi sa suhim uvjetima		-77 %	-81 %	-69 %	-86 %	-85 %	-80 %	-81 %	-79 %	-80 %

Izvor: [33]

U tablici 5 prikazane su vrijednosti kamere od 70 Db, 2,3 Mpx u kišnim uvjetima. Navedena kamera je u suhim uvjetima dala prosječne rezultate, no u kišnim uvjetima se pokazala kao najbolja. Iako je CR bio visoki u suhim uvjetima, krećući se između 1,2 za narančastu i žutu, a 2,3 za bijelu boju, pao je za otprilike 79 % nakon testiranja u dnevnim i kišnim uvjetima. Prosječna vrijednost je, dok su se vrijednosti kretale između 0,3 i 0,6. Viši CR, čiji je prosjek 0,9, a interval između 0,3 i 1,2 izmjeren je u uvjetima bez dnevnog osvjetljenja, samo sa svijetlima vozila. Mjerenje CR-a uz izvor stražnjeg osvjetljenja drugog vozila rezultirao je padom od 20-30 %.

Tablica 5: CR u kišnim uvjetima; kamera 70dB, 2,3 Mpx; razno osvjetljenje

Rasvjeta				Skraćenica za materijal								
Osvjetljenje	Prednje svjetlo	Stražnje osvjetljenje	Uvjeti	T	KP	KP+	P	P+	P-GY	P-OR	T-YL	Prosječni CR
Dan	Ugašeno	Ugašeno	Suhi	1,7	1,8	2	2,3	2,3	2,1	1,2	1,5	1,9
Dan	Ugašeno	Ugašeno	Mokri	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4
Noć	Upaljeno	Ugašeno	Mokri	1,2	0,9	1,8	0,5	0,7	0,6	0,3	0,8	0,9
Noć	Upaljeno	Upaljeno	Mokri	0,8	0,6	1,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,6	0,7
Promjena u CR-u primjenom kiše u noćnim uvjetima				-60 %	-71 %	-49 %	-80 %	-76 %	-72 %	-64 %	-67 %	-67 %
Promjena u CR-u primjenom stražnjeg osvjetljenja drugog vozila tijekom kiše				-33 %	-33 %	-29 %	-25 %	-23 %	-3 %	24 %	-27 %	-19 %

Izvor: [33]

Testiranje pod utjecajem magle ako se usporedi s testiranjem u dnevnim uvjetima suhim, smanjio se CR prosječno 71 % što je slično smanjenju od 80 % pri kiši. Pod noćnim uvjetima i osvjetljenjem svjetla vozila s simultanim smetnjama bliještanja vozila straga, CR je značajno bio viši nego u dnevnim uvjetima ali i dalje nezadovoljavajuće niski rezultati između 0,5-1,2. Prosječno je pokazalo da magloviti dnevni uvjeti su mnogo zahtjevniji nego kišni.

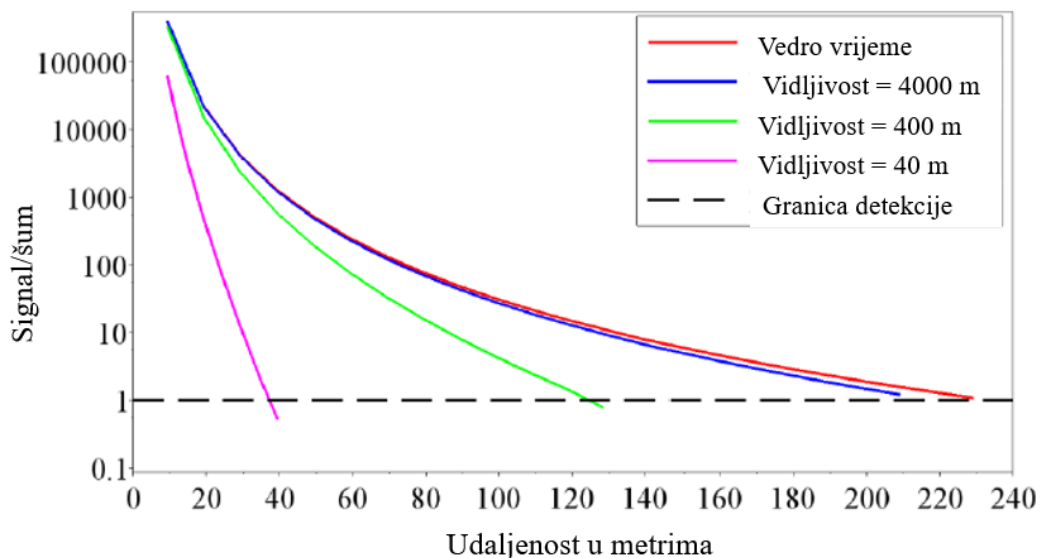
Tablica 6: CR u suhim, kišnim i maglovitim uvjetima (kamera 140 Db, 1,3 MPx)

Rasvjeta				Skraćenica za materijal								
Osvjetljenje	Prednje svjetlo	Stražnje osvjetljenje	Uvjeti	T	KP	KP+	P	P+	P-GY	P-OR	T-YL	Prosječni CR
Dan ili noć	Upaljeno	Upaljeno	Suhi	3,4	2,8	3,9	2,5	3,7	1,8	2,6	2,5	2,9
Noć	Upaljeno	Upaljeno	Mokri	0,4	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3
Dan	Ugašeno	Ugašeno	Magla	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Noć	Upaljeno	Upaljeno	Magla	0,6	0,6	1,2	0,6	1,1	0,5	0,6	0,6	0,7
Promjena u CR-u primjenom kiše, osvjetljenje svjetla automobila i osvjetljenje straga				-85 %	-88 %	-82 %	-91 %	-93 %	-84 %	-92 %	-84 %	-87 %
Promjena u CR-u primjenom magle, osvjetljenje svjetla automobila i osvjetljenje straga				-80 %	-76 %	-65 %	-71 %	-63 %	-67 %	-73 %	-74 %	-71 %

Izvor: [33]

Utjecaj magle prikazan je u tablici 6. Jači utjecaj vjetra rezultirao je u većim očitanjima CR-a ali su vrijednosti ostale niske. Kamera nije dala dobre rezultate ni na jednoj od oznaka pod utjecajem magle u dnevnim uvjetima. CR je bio samo između 0,1-0,3. Razlike su zabilježene u noćnim uvjetima pod maglom. KP+ i P+ su postavili $CR > 1,0$, dok su ostale postavile CR na otprilike 0,5-0,6.

U studiji [32] testirao se utjecaj magle i kiše i smanjenje detekcije s udaljenošću. Kapljice u zraku oslabljuju intenzitet laserske zrake jer apsorbiraju i raspršuju signale što ograničava mogućnosti lidar senzora. U nastavku, na grafikonu 3 je prikazan utjecaj magle na slabljenje laserske zrake lidar senzora kao funkcija vidljivosti u magli i udaljenosti između lidara i drugog vozila.

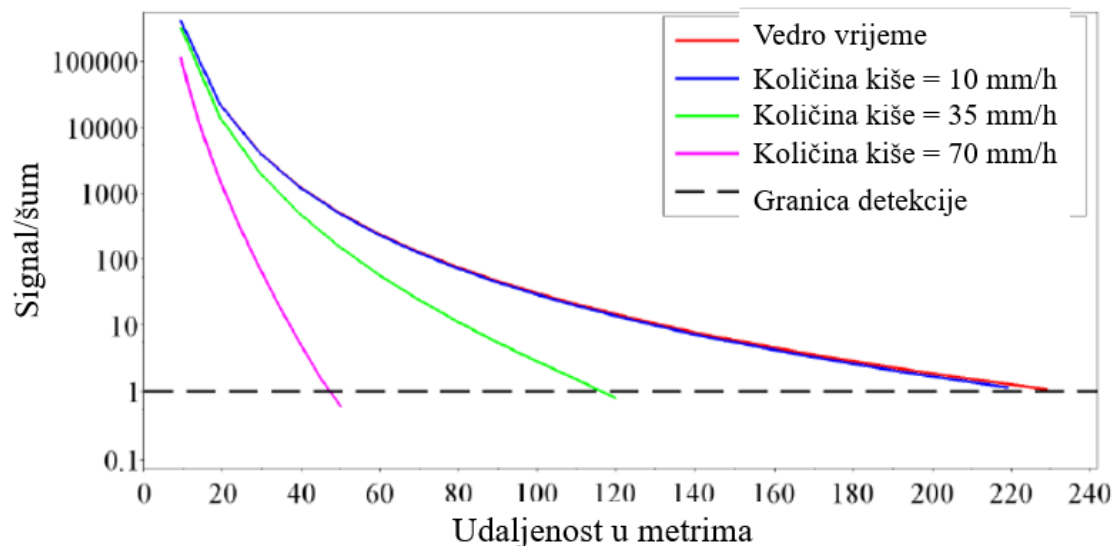


Grafikon 3: Varijacije signala laserske zrake lidar senzora kao funkcija vidljivosti u magli i udaljenosti između drugog vozila

Izvor: [34]

Vidljivo je da se signal lidara eksponencijalno smanjuje smanjenjem vidljivosti. Veće vrijednosti vidljivosti znače da je gustoća čestica od kojih je sastavljena magla slaba, u tom slučaju se signal smanjuje samo s udaljenošću. Crvenom krivuljom prikazana je vrijednost signala i udaljenosti pri normalnim vremenskim uvjetima te je ta krivulja skoro pa jednaka kao i plava koja predstavlja slabu maglu. Za srednju gustoću magle amplituda signala varira polako s udaljenošću te se domet lidara smanjuje, općenito je vidljivost za vrijeme srednje gustoće magle nekoliko stotina metara do jednog kilometra. Taj rezultat je prikazan zelenom krivuljom na grafikonu. Ružičasta krivulja na grafikonu prikazuje rezultat u slučaju jako guste magle, odnosno male vidljivosti. U tom slučaju se amplituda kao i domet detekcije smanjuje rapidno s udaljenošću.

Utjecaj kiše na intenzitet laserske zrake i smanjenje s udaljenošću prikazan je na grafikonu 4. Kao i na prethodnom grafikonu, crvena boja predstavlja normalne vremenske uvjete, odnosno vedro i suho vrijeme bez oborina. Plavom bojom prikazane su oborine do 10 mm/h, zelenom do 35 mm/h te ružičastom krivuljom do 70 mm/h. Sa grafikona je vidljivo da se signal lidara drastično smanjuje kako se povećavaju količine oborina.



Grafikon 4: Varijacije signala laserske zrake lidar senzora kao funkcija količine kiše i udaljenosti između drugog vozila

Izvor: [34]

5.2. Pregled istraživanja kvalitete detekcije prometnih znakova

Istraživanje [35] se bavilo razvijanjem algoritma i ispitivanjem sustava za automatsko prepoznavanje prometnih znakova (TSR) u vozilu u raznim vremenskim uvjetima. Korišteno je 28 prometnih znakova, od čega je 15 znakova izrađeno od materijala najviše klase, tj. klase III i ostalih 13 znakova od klase I. 15 znakova je bilo mlađe od jedne godine dok je ostalih 13 bilo starije od tri godine. Znakovi su postavljeni na testnu dionicu duljine 750 m u svakom smjeru. Testiranje se provodilo u više ponavljanja, odnosno na testnu dionicu postavilo bi se deset prometnih znakova, a svaki novi krug znakovi bi se zamijenili drugima. Za svako novo ponavljanje bi se testno vozilo opremljeno kamerom provelo dionicom brzinom od 40 km/h.

Korišteni algoritam za razvoj sustava je YOLO (*engl. You Only Look Once*). Algoritam je bilo potrebno istrenirati za detekciju prometnih znakova korištenih u istraživanju. Kako bi se algoritam što bolje istrenirao, dan mu je veliki broj primjera prometnih znakova sa sakupljenih snimki s video kamere na testnoj dionici. Isječci iz videa su se modificirali kako bi se dobile razne nijanse boja prometnih znakova, te su također rotirani kadrovi pod specifičnim kutovima kako bi se imitiralo distorziju prometnih znakova. Testiranjem je razvijeno pet verzija TSR sustava kako bi se moglo istražiti kako količina podataka za treniranje utječe na učinak prepoznavanja prometnih znakova. Najniža verzija je u treniranju imala na raspolaganju najmanji broj slika za treniranje, dok je najviša imala najviše slika prometnih znakova.

Za analizu je izabrano nekoliko parametara kako bi se evaluirala točnost identifikacije razvijenih razina TSR sustava. Parametri su: *Precision*, *Recall*, i *F1 score*. Kako bi se izmjerile vrijednosti parametra kriterij prepoznavanja znakova definiran je mjerenjem broja *True Positives*, *False Positives* i *False Negatives*. Odnosno:

- *True Positive* – TSR sustav je uspješno prepoznao (identificirao i klasificirao) prisutnost prometnog znaka.
- *False Positive* – TSR sustav je pogrešno prepoznao (identificirao i/ili klasificirao) prisutnost prometnog znaka.
- *False Negative* – TSR sustav nije uspio prepoznati (identificirao i prepoznao) prisutnost prometnog znaka.

Precision je omjer između točnih slučajeva prepoznavanja i ukupnog broja prepoznatih znakova. (Formula 2)

$$Precision = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive} \quad (2)$$

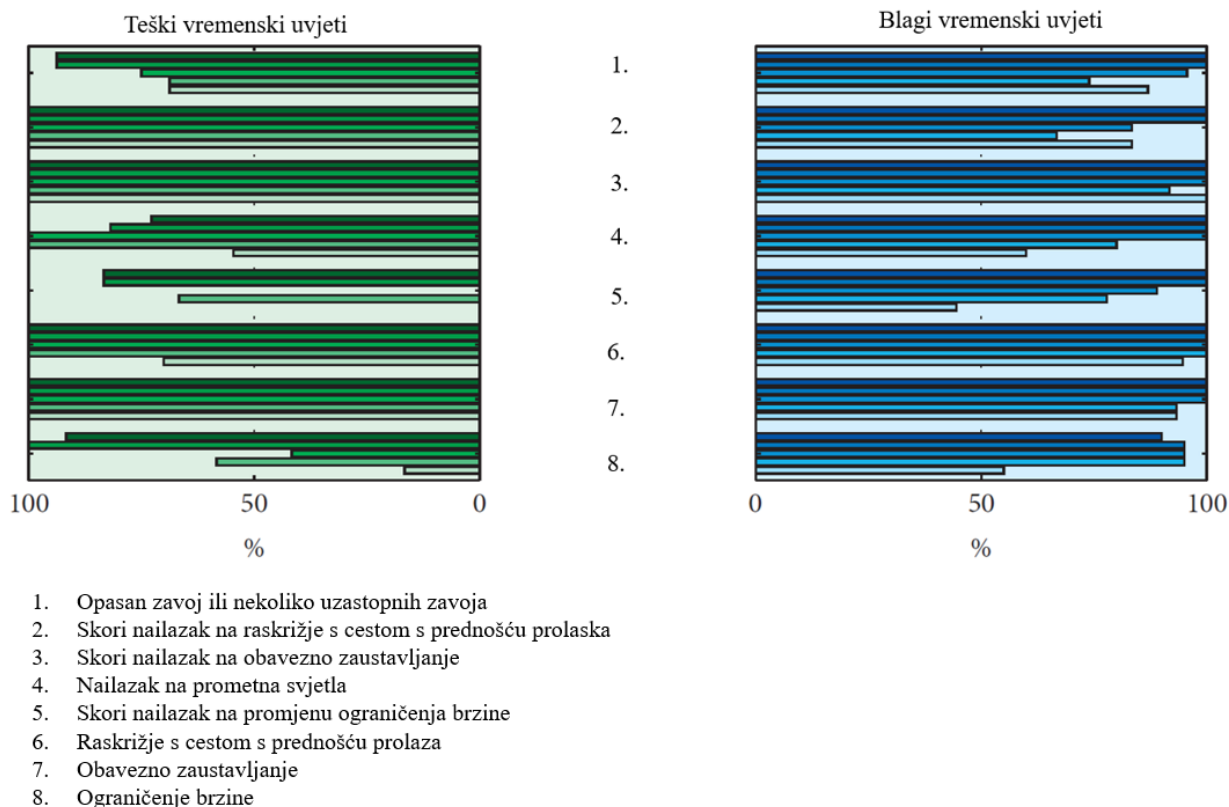
Recall je omjer između točnih slučajeva prepoznavanja i ukupnog broja znakova. (Formula 3)

$$Recall = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Negative} \quad (3)$$

F1- score je prosjek *Precision*-a i *Recall*-a. S obzirom da uzima *False Positives* i *Negatives* u obzir, pruža korisniju interpretaciju učinka prepoznavanja. (Formula 4)

$$F1 - score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

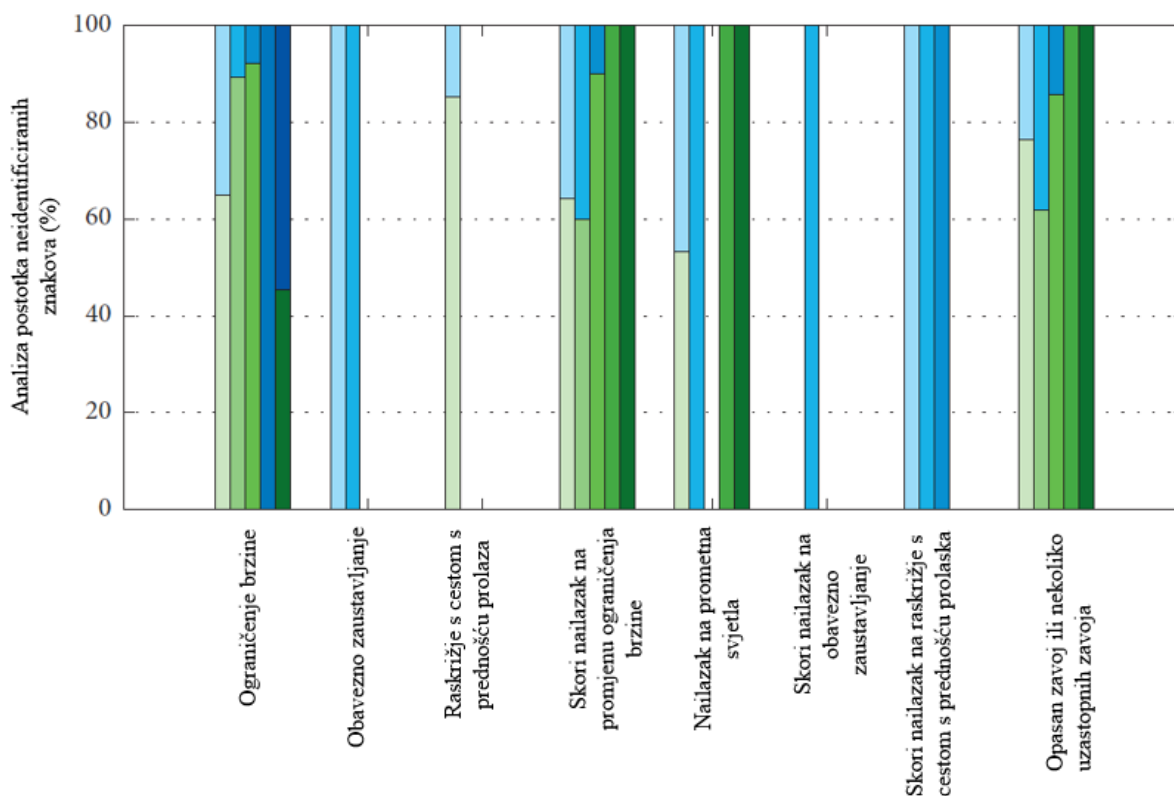
Od ukupno snimljenih 370 videa, 193 su snimljena u promjenjivim vremenskim uvjetima danju. Usporedba dobivenih rezultata obavljala se između teških vremenskih uvjeta i lakših vremenskih uvjeta. Slika 20 prikazuje vrijednost *Recall*-a testiranih različitih kategorija znakova za teže i lakše vremenske uvjete. Svaka horizontalna linija predstavlja vrijednost *Recall*-a za specifičnu verziju TSR-a (od 1 do 5). Povećanje intenziteta zelene/plave boje predstavlja veću verziju TSR-a. Na primjer, najniža horizontalna linija na slici 20 predstavlja vrijednost *Recall*-a za znakove ograničenja brzine za verziju 1 TSR sustava koja je mnogo veća u blažim vremenskim uvjetima (57,43 %) nego u težim vremenskim uvjetima (17,77 %).



Slika 20: Usporedba vrijednosti *Recall*-a

Izvor: [35]

Statističkim obradama podataka dobiveno je da je parametar *Recall*-a u blažim vremenskim uvjetima značajno veći nego u težim vremenskim uvjetima za najniže verzije (1 i 2) testiranog algoritma prepoznavanja znakova. Također, *Precision* se značajno razlikuje u verzijama od 1 do 3 dok je manje značajna razlika dobivena za *F1-score* u verzijama od 3 do 5. Može se reći da više verzije sustava koje su trenirane s više 20.000 slika nisu iskusile veće varijacije učinka zbog vremenskih uvjeta.



Grafikon 5: Udio neidentificiranih znakova

Izvor: [35]

Grafikon 5 prikazuje analizu udjela neidentificiranih znakova, odnosno postotak neidentificiranih znakova u blažim i težim vremenskim uvjetima uzimajući u obzir verzije TSR-sustava. U slučaju viših verzija razvijenog sustava proporcije neidentificiranih znakova su podjednako raspodijeljene između blažih i težih vremenskih uvjeta, a nekoliko vrsta prometnih znakova, kao što su znak za obavezno zaustavljanje i znak za raskrižje s cestom s prednošću prolaska su potpuno identificirani od strane viših razina sustava neovisno o vremenskim uvjetima. Razlog tome je specifičan oblik prometnog znaka i njegova obavezna veća razina retrorefleksije.

6. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA

Percepcija okoline senzorima je vrlo zahtjevan zadatak zbog različitih karakteristika okoline. Odnosno, ona je vrlo dinamična i može sadržavati veliki broj nepotrebnih informacija. Najbolji rezultati percepcije okoline postižu se kombinacijom informacija dobivenih s više senzora, zbog različitih načina prikupljanja podataka i njihove manje ili veće otpornosti na vremenske uvjete. Primjerice za vrijeme jake kiše otežani su uvjeti rada za kamere i lidar senzor, međutim uz pomoć radara, termalnih kamera i ultrazvučnih senzora mogu se nadomjestiti nesavršenosti funkcioniranja kamere ili lidara. Radar daje dobar i efektivan domet za detekciju prepreka u svim vremenskim uvjetima. S druge strane zbog njegove nemogućnosti prikupljanja obrisa objekata potrebna je i detaljna slika dobivena npr. kamerama. Ali iako je informacija dobivena kamerama u visokoj rezoluciji, nedostaje joj mogućnost procjene brzine drugih vozila. Također, zahtijevaju puno računalne podrške. Lidar iako daje vrlo dobre obrise objekata, ne raspoznaje boje pa detekcija prometnih znakova, ne može biti moguća samo s lidarom. U tablici 7 prikazani su sustavi u vozilu i korištene kombinacije senzora u svim vremenskim uvjetima.

Tablica 7: ADAS sustavi i moguća kombinacija senzora

Svrha	Radar			Ultrazvučni i senzor	Lidar			Kamera		
	Kratkog dometa	Srednjeg dometa	Dugog dometa		Kratkog dometa	Srednjeg dometa	Dugog dometa	Mono- kularna	Stereo	Infracrve- na
ACC sustav - prilagodljiv tempomat			✓				✓			✓
FCA - sustav izbjegavanja sudara s vozilom sprijeda		✓	✓			✓		✓	✓	✓
TSR - sustav za prepoznavanje prometnih znakova						✓		✓	✓	✓
TJA - sustav za pomoć u prometnoj gužvi	✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓
LDW i LKA - sustavi upozorenja o napuštanju i zadržavanju unutar trake		✓				✓		✓	✓	
BSM - sustav nadzora mrtvog kuta	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	
PA - sustav asistencije pri parkiranju	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	

Izvor: [36]

Pošto se radar i lidar sustavi koriste za detekciju objekata u okolini, poboljšanje kvalitete cestovne infrastrukture će manje utjecati na kvalitetu njihovih opažanja. Dok s druge strane za kamere, koje prikupljaju vizualne informacije iz okoline kvaliteta cestovne infrastrukture će

imati značajan pozitivan utjecaj na njihov rad kao i njihovo daljnje usavršavanje. Poboljšanje kvalitete infrastrukture se odnosi korištenje kvalitetnijih materijala, pravilno postavljanje i održavanje oznaka na kolniku i prometnih znakova.

Istraživanja su pokazala da kamere dobro detektiraju oznake na kolniku za vrijeme noćnih uvjeta bez obzira na vremenske uvjete, a danju uglavnom detektiraju slabije nego što je to zabilježeno noću. Razlog je kontrast između oznake na kolniku i asfalta. Bijele oznake na kolniku pokazuju bolja očitavanja senzora nego npr. narančaste ili izblijeđene oznake. Prema tome, potreban je veći kontrast između oznaka i asfalta, odnosno kontrast omjera 3:1, a optimalan bi bio 4:1 [1].

Kada je u pitanju detekcija oznaka vrlo je važna retrorefleksija oznaka na kolniku. Za pravilnu detekciju noću retrorefleksija oznake bi trebala iznositi najmanje 100 mcd/lx/m^2 [35]. Pošto kamere „vide“ na isti način kao i ljudsko oko, kada se radi o kvaliteti retrorefleksije oznaka na kolniku mogu se primijeniti ista pravila kao i za ljudski vid. Dosadašnja istraživanja pokazala su kako razina retrorefleksije koja je potrebna vozačima za sigurnu percepciju geometrije ceste u uvjetima smanjene vidljivosti je između 100 i 150 mcd/lx/m^2 u suhim uvjetima. U Republici Hrvatskoj su minimalne vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku na državnim cestama propisane smjernicama Hrvatskih cesta d.o.o. [3].

Dobar kontrast i retrorefleksija su važni čimbenici vidljivosti oznaka na kolniku, međutim tijekom jake kiše dolazi do zadržavanja vode na cesti te su istraživanja pokazala da u većini slučajeva kamere nisu u mogućnosti prepoznati prometnu traku ukoliko je ona pokrivena lokvom vode. Osim potrebnog poprečnog nagiba koji omogućuje slijevanje oborinskih voda s ceste, moguće je koristiti deblje materijale za izradu oznaka na kolniku kako bi površina oznake ostala vidljiva.

Osim oznaka na kolniku važno je i voditi brigu o prometnim znakovima. Svi prometni znakovi u RH, moraju biti izrađeni i postavljeni prema hrvatskim normama te na temelju prometnog elaborata. Prema Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama, dimenzije prometnih znakova definirane su dužinom, širinom i polumjerom za pojedine kategorije ceste. Kao i kod oznaka na kolniku, retrorefleksija prometnih znakova najviše omogućava njihovu dobru detekciju od strane senzora na vozilima. Iz tog razloga je potrebno održavati zadovoljavajuće vrijednosti retrorefleksije prometnih znakova, te ovisno o kategoriji ceste koristiti materijale s propisanom vrijednošću.

Osim toga, važan je položaj znaka uz cestu i njegova usmjerenost. Prometni znakovi za TSR sustav moraju biti ispravno postavljeni jer mala promjena u kutnosti znaka može dovesti do njihovog krivog interpretiranja. Također, zaklonjeni prometni znakovi neće moći biti detektirani. Važno je da prometnom znaku nema oštećenja koje bi uzrokovalo krivu interpretaciju značenja znaka.

Kako bi gore navedeni uvjeti mogli biti ostvareni te bi oznake na kolniku i prometni znakovi mogli biti pravilno interpretirani od strane ljudi ali i ADAS sustava potrebno je provoditi pravovremeno i kvalitetno održavanje prometne signalizacije. Navedeni proces se sastoji od ispitivanja razine kvalitete prometne signalizacije, njena zamjena u slučaju da nisu zadovoljeni minimalni propisani uvjeti retrorefleksije ili neusklađenost s odgovarajućim pravilnikom i normama.

Kao i kod svake tehnologije, potrebno je provesti još mnogo istraživanja u lošim vremenskim uvjetima kako bi se na temelju dobivenih rezultata istraživanja moglo nadograđivati postojeće senzore, trenirati algoritme računalnog vida i razvijati njihove bolje verzije.

7. ZAKLJUČAK

Prometne nesreće su jedan od glavnih uzročnika smrti u svijetu te imaju značajni društveni i ekonomski utjecaj na države i njihove stanovnike. Čovjek se zbog svojih fizičkih, psihičkih i ostalih vrlina smatra čimbenikom koji najviše utječe na nastanak prometne nesreće. Iz tog razloga se zadnje desetljeće razvijaju sigurnosni sustavi unutar vozila kao što su napredni sustavi pomoći vozaču. Uz pomoć takvih sustava, koji prate okolinu vozača i mogu kontrolirati određene funkcije u vozila nastoji se umanjiti broj prometnih nesreća. Važnost ADAS sustava dokazana je i Uredbom Europske unije kojom je nekoliko sustava ove godine postalo obvezno za nova vozila.

Ovisno o potrebi za intervencijom vozača u vožnji ADAS sustavi su podijeljeni na šest razina autonomije. U prve tri razine vozač upravlja vozilom iako su uključene funkcije pomoći vozaču te se mora stalno nadzirati rad sustava i vozila. Na ostale tri razine vozač ne mora upravljati vozilom dok su uključeni sustavi pomoći vozaču, osim ako sustav to ne zahtjeva.

Da bi se postigla tako visoka razina neovisnosti o vozaču, ADAS sustavi se služe nizom senzora kao što su kamere, radari, lidari, ultrazvučni senzori i navigacijski satelitski sustavi. Senzori koji su zaduženi za percepciju prikupljaju potrebne podatke o parametrima povezanim s automobilom, okruženjem i vozačem te obradom i kombinacijom podataka tako dobivaju uvid o položaju i kretanju ostalih objekata oko vozila.

Sustav prilagodljivog tempomata, sustav upozorenja na sudar i ostali sustavi koji neprestano prate brzinu i udaljenost ostalih vozila koriste se radarima. S druge strane, sustavi koji se odnose na održavanje vozila unutar prometne trake i sustavi prepoznavanja prometnih znakova koriste se najčešće kamerama. Lidar je senzor koji odašilje laserske zrake koje se potom odbijaju od objekata u okolini i vraćaju natrag u optički prijamnik. Rezultat je detaljan 3D prikaz okoline vozila. Radar, kao i lidar radi na principu odašiljanja i primanja signala, pa tako radar šalje elektromagnetske valove. Radar, u usporedbi s lidarom, ima veći domet ali ne može detaljno opisati izgled i oblik skeniranog prostora kao lidar. Ultrazvučni senzori koriste ultrazvučne valove i rade na manjim udaljenostima, npr. pri parkiranju vozila. Kamere s druge strane, koriste vidljivu svjetlost za stvaranje slike prostora te su zbog toga najsličnije ljudskom vidu. Mogućnost greške u radu ili prestanka rada senzora je visoka. Veliki je nedostatak što su senzori osjetljivi na razne otežane uvjete vidljivosti.

Kamere pokazuju lošije rezultate pri jakom bliještanju, zalasku sunca ili sumraku. Istraživanja su pokazala da im i svijetlo nadolazećeg vozila straga utječe na kvalitetu detekcije.

Zbog lošijeg kontrasta danju između oznaka na kolniku i asfalta daju bolje rezultate noću kada se za očitavanje oznake koriste retrorefleksijom. U uvjetima jake kiše ili magle prometna signalizacija može izgledati drugačije što dovodi do slabije detekcije, a moguće je da kamera ne detektira oznaku koja je pokrivena vodom.

Lidari su zbog svog načina rada izrazito osjetljivi na male čestice, kao što su kapljice kiše, magla ili snijeg jer djeluju kao šum i iskrivljuju 3D prikaz. Čestice raspršuju ili apsorbiraju povratni signal te se važne informacije o skeniranom prostoru gube. Slabljenje signala se javlja pri jačim količinama oborina ili u gustoj magli dok manje količine ne stvaraju velike varijacije. Radari su sustavi koji su najneovisniji o vremenskim uvjetima, međutim pri većim količinama oborina smanjuje im se domet.

Prometna signalizacija, a posebno oznake na kolniku i prometni znakovi su važan infrastrukturni element u cestovnom prometu jer prenose važne informacije sudionicima u prometu. Zbog sve većeg razvoja i korištenja ADAS sustava u vozilima prometna signalizacija sve češće prenosi informacije i sensorima. Prema tome, kako bi sve komponente (senzori, njihova kombinacija, razni algoritmi kojima se obrađuju prikupljene slike i računalni vid) o kojima ovisi „vid“ ADAS sustava ispravno funkcionirale, potrebno je voditi brigu o prometnoj signalizaciji. Kvaliteta prometne signalizacije mora biti u skladu s propisanim pravilnikom i normama, potrebno je provoditi ispitivanja kako bi se pratila razina kvalitete kroz vremenski period te ukoliko su vidljivi nedostaci, na vrijeme ju zamijeniti novom.

LITERATURA

- [1] Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa: *Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2050.* Preuzeto s: https://mup.gov.hr/UserDocsImages/2022/06/NPSCP_hr_web.pdf [Pristupljeno: 14. lipnja 2022.]
- [2] Centar za vozila Hrvatske, *Napredni sustavi za podršku vozaču pri upravljanju vozilom.* Preuzeto s: https://www.cvh.hr/media/3641/adas_web.pdf [Pristupljeno 11. svibnja 2022.]
- [3] Ščukanec A, Babić D, Babić D, Fiočić M: Nastavni materijali iz kolegija Prometna signalizacija, Zagreb, 2021./2022.
- [4] Republika Hrvatska. *Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.* Zagreb, 2019
- [5] HRN EN 1436:2009 - Materijali za oznake na kolniku - Retroreflektirajući markeri - 1. dio: Osnovna zahtijevana svojstva. Europska norma.
- [6] Vargas J, Alsweiss S, Toker O, Razdan R, Santos J. An Overview of Autonomous Vehicles Sensors and Their Vulnerability to Weather Conditions. *Sensors.* 2021;21(16): 5397. Preuzeto s: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34450839/> [Pristupljeno: 10. svibnja 2022.]
- [7] Gourova R, Krasnov O, Yarovoy A. Analysis of rain clutter detections in commercial 77 GHz automotive radar. European Radar Conference (EURAD). 2017.
- [8] Sensible 4: *Rain and Fog Challenge the Sensors.* Preuzeto s: <https://sensible4.fi/technology/rain-and-fog-challenge-the-sensors/> [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.]
- [9] Yoneda K, Suganuma N, Yanase R, Aldibaja M. Automated driving recognition technologies for adverse weather conditions. *IATSS Research.* 2019;43(4): 253-262. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111219301463> [Pristupljeno: 10. svibnja 2022.]
- [10] Automated Vehicles, Challenges and opportunities for road operators and road authorities, Piarc; 2021.
- [11] Legislative Observatory European Parliament: *EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Recommendations on next steps towards "Vision Zero".* Preuzeto s:

<https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/summary.do?id=1678191&t=e&l=en>
[Pristupljeno: 14. lipnja 2022.]

[12] Abdulbaqi Jumaa B, Mousa Abdulhassan A, Mousa Abdulhass A. Advanced Driver Assistance System (ADAS): A Review of Systems and Technologies, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology* (IJARCET). 2019; 8, (6), 2278 – 1323

[13] SAE International. *About SAE International*. Preuzeto sa: <https://www.sae.org/about/> [Pristupljeno: 12. svibnja 2022.]

[14] SAE International, *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. Preuzeto s: J3016_202104: [Pristupljeno: 12. svibnja 2022.]

[15] Yurtsever E, Lambert J, Carballo A, Takeda K. A Survey of Autonomous Driving: Common Practices and Emerging Technologies. *IEEE Access*. 2020;8: 58443-58469. Preuzeto s: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Autonomous-Driving%3A-Common-Practices-Yurtsever-Lambert/d9f1f536c67e650992ec4afd66166740f860c99b> [Pristupljeno: 16. svibnja 2022.]

[16] Cohen T, Cavoli C. Automated vehicles: Exploring possible consequences of government (non)intervention for congestion and accessibility. *Transport Reviews*. 2018;39(1): 129-151. Preuzeto s: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2018.1524401> [Pristupljeno: 16. svibnja 2022.]

[17] Dalsnes Storsæter A. *Designing and Maintaining Roads to Facilitate Automated Driving*. Disertacija. Norwegian University of Science and Technology; 2022.

[18] Cafiso S, Pappalardo G. Safety effectiveness and performance of lane support systems for driving assistance and automation – Experimental test and logistic regression for rare events. *Accident Analysis & Prevention*. 2020;148:105791. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457520316110?via%3Dihub> [Pristupljeno: 20. svibnja 2022.]

[19] Ford. *Adaptive Cruise Control*. Preuzeto s: <https://www.ford.com/technology/driver-assist-technology/adaptive-cruise-control/> [3. svibnja 2022.]

[20] Benson A.J, Tefft B.C, Svancara A.M, Horrey W.J. Potential Reductions in Crashes, Injuries, and Deaths from Large-Scale Deployment of Advanced Driver Assistance Systems. Research Brief. 2018;

[21] Einfochips. *Top 7 ADAS Technologies that Improve Vehicle Safety*. Preuzeto s: <https://www.einfochips.com/blog/top-7-adas-technologies-that-improve-vehicle-safety/> [3. svibnja 2022.]

[22] Wheelsjoint.com. *How front collision warning works on BMW*, Preuzeto s: <https://www.wheelsjoint.com/how-front-collision-warning-works-on-bmw/> [3. svibnja 2022.]

[23] Honda. *Traffic Sign Recognition System*. Preuzeto s: <https://hondanews.eu/gb/en/cars/media/photos/28983/traffic-sign-recognition-system1> [3. svibnja 2022.]

[24] European Commission. European Road Safety Observatory. Advanced driver assistance systems, Brussels, 2018. Dostupno na: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/default/files/pdf/ersosynthesis2018-adas.pdf

[25] Autotrader. *What is Blind-Spot Monitoring and How Does it Work?* Preuzeto s: <https://www.autotrader.com/car-shopping/what-is-blind-spot-monitoring-and-how-does-it-work> [Pristupljeno: 3. svibnja 2022.]

[26] Franković L, Jembrek A, Kučina I: Utvrđivanje točnosti detekcije oznaka na kolniku “machine-vision” sustavom, rad za Rektorovu nagradu, Zagreb, 2021.

[27] Kukkala V, Tunnell J, Pasricha S, Bradley T. Advanced Driver-Assistance Systems: A Path Toward Autonomous Vehicles. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2018;7(5): 18-25. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8429957> [Pristupljeno: 20. svibnja 2022.]

[28] Continental automotive, *Radars*. Preuzeto s: <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Safety-and-Motion/Products/Sensors/Radars> [11. lipnja 2022.]

[29] Mohammed A, Amamou A, Ayevide F, Kelouwani S, Agbossou K, Zioui N. The Perception System of Intelligent Ground Vehicles in All Weather Conditions: A Systematic Literature Review. *Sensors*. 2020;20(22): 6532. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/22/6532> [Pristupljeno: 11. lipnja 2022.]

[30] Kaur G, Kumar D, Lane Detection Techniques, *International Journal of Computer Applications. A Review.* 2015;12(10), 0975 – 8887. Preuzeto s: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume112/number10/19700-0923> [Pristupljeno 16. lipnja 2022.]

[31] Orlando G. “A new approach for the Classification of Advanced Vehicles in Transportation Systems”. *Transportation Management.* 2019;1(2). Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/332015602_A_new_approach_for_the_Classification_of_Advanced_Vehicles_in_Transportation_Systems [Pristupljeno: 16. lipnja 2022.]

[32] Hadi M, Sinha P, Easterling J. Effect of Environmental Conditions on Performance of Image Recognition-Based Lane Departure Warning System. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* 2007;2000(1): 114-120. Preuzeto s: <https://www.deepdyve.com/lp/sage/effect-of-environmental-conditions-on-performance-of-image-recognition-KbN0Fq9BAW?key=sage> [Pristupljeno: 25. lipnja 2022.]

[33] Burghardt T, Popp R, Helmreich B, Reiter T, Böhm G, Pitterle G et al. Visibility of various road markings for machine vision. *Case Studies in Construction Materials.* 2021;15:e00579. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509521000942>

[34] Hadj-Bachir M, de Souza P, LIDAR sensor simulation in adverse weather condition for driving assistance development. *Hal.* 2019. Preuzeto s: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01998668> [Pristupljeno: 1. srpnja 2022.]

[35] Mohammed A, Amamou A, Ayevide F, Kelouwani S, Agbossou K, Zioui N. The Perception System of Intelligent Ground Vehicles in All Weather Conditions: A Systematic Literature Review. *Sensors.* 2020;20(22): 6532. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/22/6532> [Pristupljeno: 10. srpnja 2022.]

[36] Seraj M, Castellanos A, Shalkamy A, El-Basyouny K, Qiu T, The Implications of Weather and Reflectivity Variations on Automatic Traffic Sign Recognition Performance. *Journal of Advanced Transportation,* 2021. Preuzeto s: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2021/5513552/> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2022.]

[37] Mihalj T, Li H, Babić D, Lex C, Jeudy M, Zovak G et al. Road Infrastructure Challenges Faced by Automated Driving: A Review. *Applied Sciences.* 2022;12(7): 3477. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3477> [Pristupljeno: 10. srpnja 2022.]

POPIS KRATICA

ADAS (Advanced Driver Assistance System) napredni sustavi pomoći vozaču

HDR (High Dynamic Range) kamere s visokim dinamičkim rasponom

SAE (Society of Automotive Engineers) Međunarodno udruženje automobilskih inženjera

ODD (Operational Design Domain) domena operativnog dizajna

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

ISA (Intelligent Speed Adaptation) sustav inteligentne prilagodbe brzine

TRS (Traffic Sign Recognition) sustav prepoznavanja prometnih 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

GPS (Global Positioning System) globalni pozicijski sustav

CNN (Convolutional Neural Network) konvolucijska neuronska mreža

CV (Computer Vision) računalni vid

FPS (Frames per Second) broj kadrova u sekundi

RGB (Red, Green, Blue) crvena, zelena, plava

POPIS SLIKA

Slika 1: Sferična i prizmatična retrorefleksija.....	6
Slika 2:Slabljenje jačine signala zbog utjecaja kapljica kiše	11
Slika 3: Vodeni val ispred senzora tijekom kiše	11
Slika 4: Smetnje za lidar izazvane snijegom.....	12
Slika 5: Čimbenici sigurnosti cestovnog prometa.....	15
Slika 6: Razine autonomije vožnje.....	17
Slika 7: Prikaz ACC sustava	19
Slika 8: Prikaz FCW sustava.....	20
Slika 9: Prikaz TSR sustava	21
Slika 10: Prikaz BSD sustava.....	22
Slika 11: Prikaz pozicije senzora, područja oko vozila koje prekriva te ADAS sustava koji ga koristi.....	23
Slika 12: Podjela senzora korištenih u ADAS-u	24
Slika 13: LiDAR senzor	25
Slika 14: RADAR senzor	26
Slika 15: Ultrazvučni senzor	26
Slika 16: Monokularna i stereo kamera.....	28
Slika 17: Detekcija prometnog znaka.....	30
Slika 18. A) Ulazna slika; B) Filtrirana slika; C) Slika u sivim tonovima; D) Binarna slika; E) Izglađena slika; F) Slika prepoznatih rubova; G) Izglađena slika; H) Izlazna slika	32
Slika 19: Klimatski zračni tunel s testiranim oznakama	37
Slika 20: Usporedba vrijednosti <i>Recall</i> -a.....	45

POPIS TABLICA

Tablica 1: Senzori u vozilima i njihove karakteristike.....	10
Tablica 2: Opis i svojstva testiranih oznaka.....	37

Tablica 3: CR u suhim uvjetima; razna osvjetljenja	38
Tablica 4: CR u kišnim uvjetima; sva osvjetljenja.....	39
Tablica 5: CR u kišnim uvjetima; kamera 70dB, 2,3 Mpx; razno osvjetljenje	40
Tablica 6: CR u suhim, kišnim i maglovitim uvjetima (kamera 140 Db, 1,3 MPx)	41
Tablica 7: ADAS sustavi i moguća kombinacija senzora	47

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: Odnos između stope učinkovitosti i retrorefleksije žutih oznaka na kolniku za vrijeme noćnih uvjeta	35
Grafikon 2: Odnos između stope učinkovitosti i retrorefleksije bijelih oznaka na kolniku za vrijeme noćnih uvjeta	35
Grafikon 3: Varijacije signala laserske zrake lidar senzora kao funkcija vidljivosti u magli i udaljenosti između drugog vozila	42
Grafikon 4: Varijacije signala laserske zrake lidar senzora kao funkcija količine kiše i udaljenosti između drugog vozila	43
Grafikon 5: Udio neidentificiranih znakova.....	46

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ diplomski rad isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi. Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Utjecaj vremenskih uvjeta na kvalitetu detekcije prometne signalizacije primjenom ADAS sustava u vozilu, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 7.9.2022.

Lucija Franković


(ime i prezime, potpis)