

Prilagodba infrastrukture cestovnog prometa autonomnoj vožnji

Pavlović, Bruno

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:119:063164>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Bruno Pavlović

**PRILAGODBA INFRASTRUKTURE CESTOVNOG
PROMETA AUTONOMNOJ VOŽNJI**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2022.

Zagreb, 17. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Prometno tehnološko projektiranje**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6587

Pristupnik: **Bruno Pavlović (0135248846)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Prilagodba infrastrukture cestovnog prometa autonomnoj vožnji**

Opis zadatka:

U radu je potrebno obraditi prilagodbu infrastrukture cestovnog prometa autonomnoj vožnji. U prvom dijelu rada potrebno je istražiti i objasniti način rada i vožnje autonomnog vozila. Nakon toga je potrebno istražiti i analizirati sve značajke infrastrukture cestovnog prometa koje mogu imati utjecaj na vožnju kako klasičnih tako i autonomnih vozila. Poseban naglasak potrebno je staviti na projektne elemente infrastrukture cestovnog prometa. Temeljem prethodna dva poglavlja potrebno je objasniti kako autonomna vozila korespondiraju s prometnom infrastrukturom te istražiti kakva su predviđanja te interakcije u budućnosti. Iza toga, kao glavni i zaključni dio rada potrebno je predložiti smjernice za projektiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa kako bi onda omogućila što jednostavnije i sigurnije kretanje autonomnim vozilima svih razina autonomije.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

izv. prof. dr. sc. Marko Šoštarić

ZAHVALA

Velika zahvala ide svim mojim prijateljima na motivaciji, strpljenju i podršci kroz sve protekle godine.

Najveća zahvala ide mojoj obitelji, hvala Vam što ste bili uvijek tu i što smo zajedno došli do ovog najljepšeg dijela studiranja, do pisanja ove zahvale. Hvala Vam što ste uvijek moja najsnažnija podrška.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PRILAGODBA INFRASTRUKTURE CESTOVNOG
PROMETA AUTONOMNOJ VOŽNJI
ADAPTING OF ROAD INFRASTRUCTURE DESIGN TO
AUTONOMOUS DRIVING**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marko Šoštarić

Student: Bruno Pavlović

JMBAG: 0135248846

Zagreb, rujan 2022.

Sažetak

Naslov: Prilagodba infrastrukture cestovnog prometa autonomnoj vožnji

Automatizirana vozila smatraju se jednom od najvažnijih inovacija u prometnom sustavu te se smatra da će takva vozila značajno utjecati na smanjenje broja prometnih nesreća, prometnih zagušenja i potrošnje energije. S druge strane, kada je riječ o potpuno automatiziranim vozilima koja će se uskoro vidjeti na cestama, direktno se dolazi do brojnih pitanja koja su vezana uz sigurnost takvih vozila. Automatizirana vozila sastoje se od kombinacije softvera za kontrolu i upravljanje vozilom te senzorskih sustava od kojih velika većina nije potpuno pouzdana u nepovoljnim vremenskim uvjetima. Odgovarajuća komunikacijska oprema preduvjet je za povezanu i autonomnu vožnju, a trenutno stanje je takvo da trenutna infrastruktura nije na razini koja bi omogućila siguran rad povezanim i automatiziranim vozilima. Svrha i cilj ovog diplomskog rada je prikazati problematiku između postojeće infrastrukture cestovnog prometa i automatiziranih vozila te razraditi rješenja, odnosno smjernice za planiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa koja će biti u što je moguće većoj mjeri prilagođena autonomnoj vožnji.

Ključne riječi: infrastruktura cestovnog prometa; automatizirana vozila; povezana i automatizirana vozila; autonomna vožnja; kooperativni inteligentni transportni sustavi

Summary

Title: Adapting of road infrastructure design to autonomous driving

Autonomous vehicles are assumed to be one of the most important innovation in transport system and it is considered that such vehicles will have a significant impact on reducing the number of traffic accidents, traffic congestion and energy consumption. On the other hand, when it comes to autonomous vehicles that will soon be on the roads, numerous questions related to the safety of such vehicles directly arise. Automated vehicles consist of a combination of vehicle control and management software and sensor systems, the vast majority of which are not completely reliable in bad weather conditions. Adequate communication equipment is a precondition for safe connected and automated driving, and the current situation is such that the current infrastructure is not at the level that would enable the safe operation of connected and autonomous vehicles. The purpose and goal of this thesis is to show the problems between the existing road traffic infrastructure and autonomous vehicles, and to develop solutions, i.e. guidelines for planning the future road traffic infrastructure, which will be adapted to autonomous driving as much as possible.

Key words: road infrastructure design; autonomous vehicles; connected and autonomous vehicles; autonomous driving; cooperative intelligent transport systems

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Autonomna vožnja..... | 3 |
| 2.1. Faze razvoja automatiziranih vozila | 4 |
| 2.2. Klasifikacija automatiziranih vozila | 5 |
| 2.3. Senzorski sustavi | 6 |
| 2.3.1. Radar | 8 |
| 2.3.2. Lidar | 8 |
| 2.3.3. Ultrazvučni senzor | 9 |
| 2.3.4. Kamera | 10 |
| 2.3.5. GPS | 11 |
| 2.3.6. IMU | 12 |
| 2.3.7. Odometrijski senzor | 12 |
| 2.4. Percepcija, planiranje rute putovanja i kontrola | 12 |
| 2.5. Napredni sustavi pomoći vozaču | 14 |
| 3. Postojeća infrastruktura u cestovnom prometu | 16 |
| 3.1. Infrastruktura cestovnog prometa..... | 16 |
| 3.1.1. Podjela javnih cesta..... | 16 |
| 3.1.2. Elementi poprečnog presjeka ceste | 17 |
| 3.1.3. Nosivi ustroj ceste..... | 20 |
| 3.1.4. Prometna signalizacija..... | 21 |
| 3.2. Mjerodavne brzine | 22 |
| 3.2.1. Projektna brzina | 22 |
| 3.2.2. Računska brzina | 23 |
| 3.4. Horizontalno vođenje linije..... | 23 |
| 3.4.1. Pravac | 24 |
| 3.4.2. Kružni luk..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 3.4.3. Prijelazna krivina | 25 |
| 3.4.4. Poprečni nagib kolnika u pravcu..... | 25 |
| 3.4.5. Vitoperenje kolnika..... | 26 |
| 3.4.6. Proširenje kolnika u zavoju | 26 |
| 3.4.7. Zaokretnice | 26 |
| 3.5. Vertikalno vođenje linije..... | 26 |
| 3.5.1. Konveksno vertikalno zaobljenje..... | 27 |
| 3.5.2. Konkavno vertikalno zaobljenje | 28 |
| 4. Interakcija infrastrukture cestovnog prometa i autonomnih vozila..... | 29 |
| 4.1. Tesla Autopilot | 38 |
| 4.2. Kooperativni sustavi u prometu za povezana i automatizirana vozila..... | 40 |
| 4.2.1. Komunikacija između vozila i infrastrukture | 42 |
| 4.2.2. Komunikacija između vozila | 43 |
| 4.2.3. Komunikacija između vozila i pješaka..... | 43 |
| 4.3. Pametna autocesta za automatizirana vozila | 43 |
| 5. Projektiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa prilagođene autonomnoj vožnji | 46 |
| 5.1. Smjernice za projektiranje prometnica | 46 |
| 5.1.1. Zaustavni put vozila | 46 |
| 5.1.2. Širina preglednosti u horizontalnom zavoju..... | 49 |
| 5.1.3. Konveksni prijelom nivelete..... | 51 |
| 5.2. Smjernice za geometrijski izgled ceste | 53 |
| 5.3. Smjernice za izgradnju koridora i namjenskih traka | 56 |
| 5.4. Smjernice za izgradnju parkirališta..... | 58 |
| 5.5. Smjernice za označavanje horizontalne signalizacije | 59 |
| 5.6. Smjernice za označavanje vertikalne signalizacije..... | 61 |
| 6. Zaključak..... | 66 |
| Literatura..... | 69 |

| | |
|----------------------|----|
| Popis slika | 73 |
| Popis tablica | 75 |
| Popis grafikona..... | 75 |
| Popis kratica..... | 76 |
| Popis priloga | 78 |

1. Uvod

U posljednje vrijeme velika pažnja je posvećena inovativnim rješenjima u području tehnologije prometa i transporta jer je potrebno savladati velik broj tehnoloških izazova u razvoju potpuno automatiziranih vozila koji ne zahtijevaju intervenciju vozača. Tehnološki izazovi uključuju percepciju i predviđanje, naprednu navigaciju i mapiranje te napredno automatsko upravljanje u automatiziranim vozilima. Prije nego se na cesti krenu pojavljivati potpuno automatizirana vozila, rast će broj djelomično automatiziranih vozila u kojima vozač treba preuzeti kontrolu nad vozilom u određenim situacijama.

Uloga kooperativnih prometnih sustava od velike je važnosti u osiguravanju povezivosti za povezana i automatizirana vozila, ali trenutno se ne može točno predvidjeti kako i na koji način će se uvesti automatizacija u prometni sustav jer bi se svaki sustav koji zahtijeva komunikacijsku tehnologiju uz cestu mogao pokazati pretjerano skupim te bi mogao pokrenuti niz pitanja u vezi međunarodne interoperabilnosti. Prema raznim predviđanjima, s uvođenjem automatizacije u prometni sustav povećat će se stupanj cestovne sigurnosti, smanjit će se repovi čekanja na cestama, potrošnja energije i emisije ispušnih plinova u prometu te bi se postupno ukinulo korištenje fosilnih goriva.

Velik broj nesreća na cesti uzrokovano je ljudskom pogreškom i stoga je potrebno smanjiti mogućnost takvih nesreća obveznim korištenjem sustava za pomoć u vožnji s kojima se povećava sigurnost vožnje. Pokazalo se kako napredni sustavi za pomoć u vožnji, kao što su upozorenja o napuštanju prometne trake i automatsko kočenje u nuždi, pridonose sigurnosti na cestama i smanjuju broj teških nesreća. Osim toga, u cijeloj Europskoj uniji, u posljednjem je desetljeću zabilježen pad smrtnih slučajeva zbog kontinuirane aktivnosti u području razvoja vozila i sigurnosnih sustava.

Suvremeni cestovni promet zahtijeva sigurno kretanje vozila u svim vremenskim prilikama i upravo iz tog razloga je potrebno opremiti cestu i prometnu signalizaciju na način kako bi se promet odvijao nesmetano i na siguran način. Kada je oprema ceste i prometna signalizacija na razini koju zahtijeva suvremeni promet, time se povećava sigurnost prometa te je važno da se kontinuirano provode mjere i postupci održavanja cestovne mreže.

Automatizirana vozila imat će veliki utjecaj na projektiranje prometnih površina. Potpuno automatizirana vozila voze preciznom putanjom što dovodi do potencijalnih oštećenja

ceste odnosno do vidljivog usjeka kotača na cestama po kojima se kreću što znači da će automatizirana vozila zahtijevati drukčiju konstrukciju ceste.

Svrha diplomskog rada jest prikazati problematiku između postojeće infrastrukture cestovnog prometa i automatiziranih vozila. Cilj je diplomskog rada je razraditi rješenja, odnosno smjernice za planiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa koja će biti u što je moguće većoj mjeri prilagođena autonomnoj vožnji. Naslov diplomskog rada je: Prilagodba infrastrukture cestovnog prometa autonomnoj vožnji. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Autonomna vožnja
3. Postojeća infrastruktura u cestovnom prometu
4. Interakcija infrastrukture cestovnog prometa i autonomnih vozila
5. Projektiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa prilagođene autonomnoj vožnji
6. Zaključak.

Drugo poglavlje sadrži povijesni razvoj automatiziranih vozila te su opisani i nabrojani senzorski sustavi koji se nalaze u automatiziranim vozilima. Objasnjeno je kako automatizirano vozilo percipira okolinu u kojoj se nalazi te na koji način dolazi do željenog odredišta. Navedene su i objašnjene funkcije naprednih sustava pomoći vozaču.

Treće poglavlje obuhvaća pojmove koji su vezani uz infrastrukturu cestovnog prometa. Objasnjene su i mjerodavne brzine koje su temelj su za oblikovanje elemenata ceste, kao i vertikalno i horizontalno vođenje trase.

U četvrtom poglavlju detaljno je opisano kako se automatizirano vozilo kreće uz pomoć senzorskih sustava, te su navedene komunikacije koje ostvaruje povezano i automatizirano vozilo pomoću kooperativnih sustava u prometu. Osim toga, navedene su tehnologije koje su temeljni dio pametne ceste za automatizirana vozila te su na kraju ovog poglavlja prikazani primjeri uspješne prilagodbe između automatiziranih vozila i infrastrukture

U petom poglavlju navedene su potrebne promjene u budućnosti, odnosno na temelju provedene analize postojeće infrastrukture cestovnog prometa navedene su smjernice za projektiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa kako bi se omogućilo što jednostavnije i sigurnije kretanje automatiziranih vozila.

2. Autonomna vožnja

Prema raznim predviđanjima u sljedećih nekoliko godina mogla bi se dogoditi najveća revolucija u autoindustriji od izuma automobila. Autonomna vožnja i električni automobili su glavni razlozi zbog kojih se očekuju takva predviđanja. Autoindustrija uvijek prati tehnološke trendove što znači da su automobili i najnovije tehnologije povezani u velikoj mjeri. Suvremeni automobili su opremljeni s raznim sustavima koji predstavljaju temelj autonomne vožnje što znači da autonomna vožnja više ne predstavlja pojam koji je isključivo vezan uz budućnost. Uz to, postepenim uvođenjem obveznih sustava u nove automobile koji aktivno utječu na sigurnost u prometu, potvrđuje se činjenica da su automatizirana vozila dio sadašnjice. Kod automatiziranih vozila je upravljanje, kočenje i kontrola gasa i dr. moguće bez intervencije vozača.

Automatizirano vozilo može biti djelomično i potpuno automatizirano. Razlika između potpuno automatiziranog vozila i djelomično automatiziranog vozila je što djelomično automatizirano vozilo ima ugrađene sustave za pomoć vozaču te su propisane sankcije za vozače koja u takvom vozilu ne sjede na vozačkom sjedalu za vrijeme vožnje jer zbog toga ne mogu pravovremeno reagirati u nepredviđenim situacijama.

Automatizirano vozilo (engl. Autonomous vehicle – AV) je motorno vozilo koje koristi hardver i softver za kontinuiranu potpunu dinamičku kontrolu vozila. Vozač je za vrijeme upravljanja vozilom dužan sjediti na vozačkom sjedalu i upravljati vozilom, osim u slučaju potpuno automatiziranog vozila [1].

Vozilo koje sadrži tehnologiju koja mu omogućuje povezivanje s podatkovnom mrežom i s drugim uređajima te koje komunicira s infrastrukturom i drugim vozilima, a ipak nije automatizirano, naziva se povezano vozilo (engl. Connected vehicle - CV). Ako automatizirano vozilo komunicira s infrastrukturom radi prikupljanja informacija ili zbog tzv. dogovaranja o svojim manevrima, takvo vozilo naziva se povezano i automatizirano vozilo (engl. Connected and autonomous vehicle - CAV) što znači da CAV kombinira oba skupa tehnologija [2].

Velika većina automatiziranih vozila može biti povezana što znači da se u bliskoj budućnosti može se očekivati da će automatizirana vozila postati povezana i automatizirana vozila sposobna za povezanu i potpuno autonomnu vožnju.

U upravljačkom sustavu kod AV-a razlikuju se tri skupine elemenata, a to su ulazni uređaji, izlazni uređaji i sustav upravljanja. Ulazni uređaji, odnosno senzori (lidar, kamere, radari i ostali) predstavljaju “oči“ sustava koje prikupljaju informacije o tome što se događa u okolini izvan vozila, dok izlazni uređaji predstavljaju “ruke“ sustava jer imaju izravan utjecaj na vozilo, odnosno na izravan način upravljaju upravljačem automobila, kočnicama i dr. Sustav upravljanja predstavlja “srce“ i “mozak“ cijelog sustava, odnosno računalni program u kojem se donose odluke o tome kako će se automobil ponašati u svim uvjetima vožnje [3].

2.1. Faze razvoja automatiziranih vozila

Prvi oblik automatiziranih sustava vožnje pojavio početkom dvadesetog stoljeća, a kada je riječ o razvoju automatiziranih vozila kroz povijest, razvoj se može podijeliti u tri faze. Prva faza razvoja automatiziranih vozila trajala je od 1980. do 2003. godine u kojoj su istraživački centri, transportne agencije te automobilske tvrtke izrađivali jednostavne studije autonomnog prijevoza. U prvoj fazi razvoja proizašla su dva glavna tehnološka koncepta. Prvi tehnološki koncept bazirao se na razvoju automatiziranih sustava koji su bili prilagođeni uvjetima na autocesti u kojem su vozila u najvećoj mjeri ovisila o infrastrukturnim elementima autoceste koja im je ujedno služila za usmjeravanje. Nasuprot tome glavni fokus drugog tehnološkog koncepta bio je na razvoju automatiziranih vozila koji bi djelomično ovisili o infrastrukturnim elementima autoceste ili razvoju automatiziranih vozila koji bi vozili samostalno bez ikakve pomoći [4].

Druga faza razvoja trajala je od 2003. do 2007. godine i ona je poznatija pod nazivom „Faza velikih izazova“ jer je Agencija za obrambene napredne istraživačke projekte američkog Ministarstva obrane u toj fazi pokrenula tri velika izazova od kojih je svaki za sebe znatno unaprijedio tehnologiju automatiziranih vozila. Glavni cilj tih triju izazova bio je istražiti mogućnost primjene automatiziranih vozila u vojne svrhe [4].

Posljednja faza razvoja poznata je i pod nazivom „Faza komercijalnog razvoja“ čiji je glavni fokus bio na komercijalnom razvoju. Izazovi u prethodnoj fazi učvrstili su partnerstva između obrazovnog sektora i automobilske industrije te su nakon toga pokrenuti brojni programi s ciljem unapređenja tehnologije automatiziranih vozila. Neki od najvažnijih programa su: Autonomni kolaborativni istraživački laboratorij za vožnju (eng. Autonomous Driving Collaborative Research Lab), partnerstvo između General Motors-a i Sveučilišta Carnegie Mellon te partnerstvo između Volkswagena i Sveučilišta Stanford [4].

2.2. Klasifikacija automatiziranih vozila

Udruga automobilskih inženjera (engl. Society of Automotive Engineers - SAE International) je 2014. godine objavila klasifikaciju automatiziranih vozila u šest razina koju su potom nadopunili 2016. godine, a klasifikacija je sljedeća [4]:

- Razina 0: vozač u potpunosti kontrolira vozilo
- Razina 1: vozač i automatizirani sustav dijele kontrolu nad vozilom te su radnje poput ubrzavanja i usporavanja djelomično automatizirane
- Razina 2: automatizirani sustav preuzima potpunu kontrolu nad vozilom kod upravljanja, ubrzavanja ili usporavanja
- Razina 3: vozač ne mora imati potpunu pozornost u vožnji te se može tijekom vožnje primjerice koristiti mobitelom, ali se ipak očekuje intervencija vozača u određenom trenutku
- Razina 4: vozač može napustiti vozačko mjesto, ali samo na dozvoljenim, točno određenim prometnicama
- Razina 5: vožnja je u potpunosti automatizirana i nema potrebe za ljudskom intervencijom.

Klasifikacija automatiziranih vozila prikazana je i u tablici 1. U njoj je opisano svih šest razina s odgovarajućim primjerom gdje se mogu koristiti i navedeno je što učiniti u slučaju prestanka rada sustava autonomne vožnje.

Tablica 1. Razine autonomnosti vozila s pripadajućim primjerima

| Razine | Tip automatizacije | Primjer | Mjesto korištenja | Prestanak rada sustava AV |
|--------|--|--|---------------------------|--|
| 0 | Vozač upravlja svim ili dijelom zadataka vožnje | | | |
| | Bez automatizacije | Automatizacija nije prisutna nigdje | Nije primjenjivo | Nije primjenjivo |
| 1 | Vozačevo sudjelovanje | Prilagodljivi tempomat ili sustav održavanja u traci | Određene ceste | Vozač i dalje upravlja svim bitnim zadacima vožnje |
| 2 | Djelomična autonomnost | Prilagodljivi tempomat i sustav održavanja u traci | Određene ceste | Vozač i dalje upravlja svim bitnim zadacima vožnje |
| 3 | Sustavi autonomne vožnje upravljaju svim zadacima vožnje | | | |
| | Uvjetna autonomnost | Automatizirana vožnja na autocestama | Određena područja i ceste | Vozač preuzima kontrolu nakon upozorenja |
| 4 | Visoka autonomnost | Automatizirana vožnja u centru grada | Određena područja i ceste | Sustavi autonomne vožnje sigurno zaustavljaju vozilo |
| 5 | Potpuna autonomnost | Automatizirana vožnja svugdje | Svugdje na cesti | Sustavi autonomne vožnje sigurno zaustavljaju vozilo |

Izvor: [4]

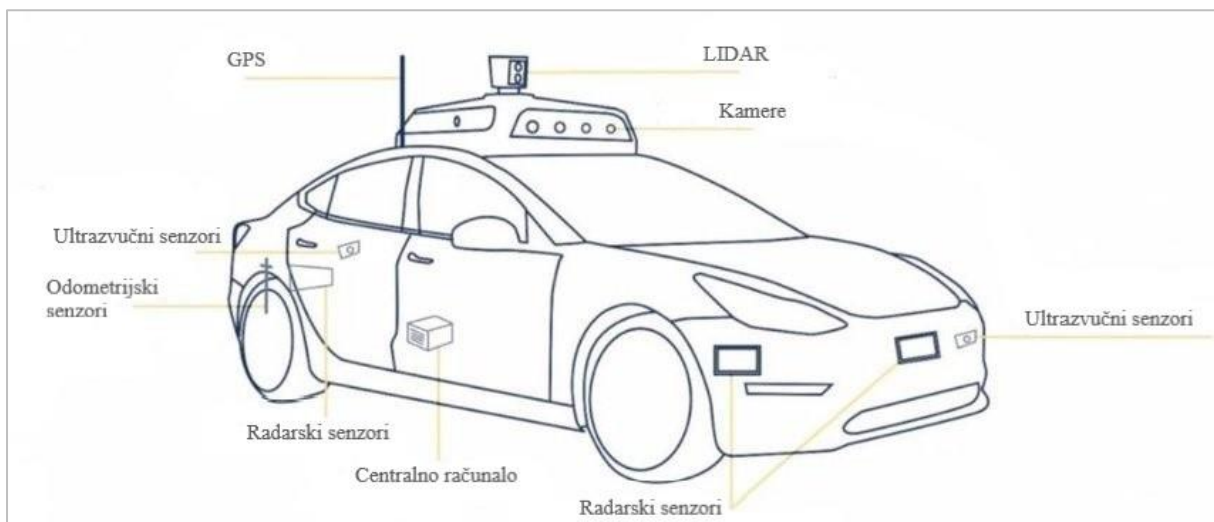
2.3. Senzorski sustavi

Senzorski sustavi predstavljaju vrlo važan element kada je riječ o realizaciji sigurne vožnje. Na automatiziranom vozilu velik je broj senzora koji izmjerenu veličinu pretvaraju u električki mjerljiv signal. Važno je napomenuti da automatizirana vozila imaju velik broj senzora s redundantnim funkcijama što znači da će u slučaju kvara jednog senzora, drugi senzor preuzeti njegovu funkciju.

Automatizirana vozila projektirana su na principu “osjeti-planiraj-djeluj” što znači da vozilo najprije prikuplja podatke vlastitog stanja i iz okoline pomoću senzorskih sustava, a zatim pomoću naprednih algoritama obrađuje prikupljene podatke i naposljetku izrađuje planove o odlukama koje će donijeti. Nakon što algoritmi obrade sve podatke, izrađuje se plan te se donosi konačna odluka za upravljački sustav vozila [4].

Senzorski sustavi sastoje se od više različitih senzora koji prikupljaju podatke iz okoline vozila u stvarnom vremenu te se oni koriste za percepciju, planiranje rute putovanja, izračunavanje udaljenosti od prepreka ili za navigaciju. Senzori upravljačkog sustava kod potpuno automatiziranih vozila dijele se u dvije grupe: senzore kratkog dometa i srednjeg/dugog dometa. Senzori kratkog dometa su ultrazvučni i infracrveni senzori dok su senzori dugog dometa radar, lidar, računalni vid i GPS [4].

Na slici 1 su prikazani senzorski sustavi na potpuno automatiziranom automobilu.



Slika 1. Senzorski sustavi na potpuno automatiziranom automobilu

Izvor: [5]

Pojam percepcije kod automatiziranih vozila predstavlja sposobnost vozila da razumije svoju okolinu. Za percepciju se najčešće koriste lidar, radar, *GPS* i kamere. Svaki od spomenutih senzora generira različite vrste podataka, no svaki od njih sadrži i vlastita ograničenja [4].

Nadalje, kako bi autonomno vozilo stiglo od točke A do točke B, koriste se osnovne navigacijske vještine [6]:

- Izrada i čitanje karte: automatizirani automobili kombiniraju informacije iz svojih senzorskih sustava u suradnji s drugim podacima (npr. digitalnim kartama) kako bi kreirali i čitali karte svog okruženja
- Planiranje puta: automatizirana vozila koriste svoje senzorske sustave za planiranje rute putovanja
- Izbjegavanje prepreka: automatizirani automobili koriste svoje senzorske sustave u stvarnom vremenu kako bi pravovremeno otkrili, interpretirali i reagirali na situaciju u okolini, primjerice kako bi izbjegli pješaka, biciklista i drugi automobil.

Razlika između načina rada kamera, lidara, radara i GPS-a prikazana je na slici 2. Osim toga, na slici 2 može se vidjeti pojednostavljeni prikaz: prikupljanja vizualnih informacija iz okoline pomoću kamere, laserskog skeniranja pomoću lidara, odašiljanja radio valova pomoću radara te određivanje položaja vozila pomoću GPS-a [7].



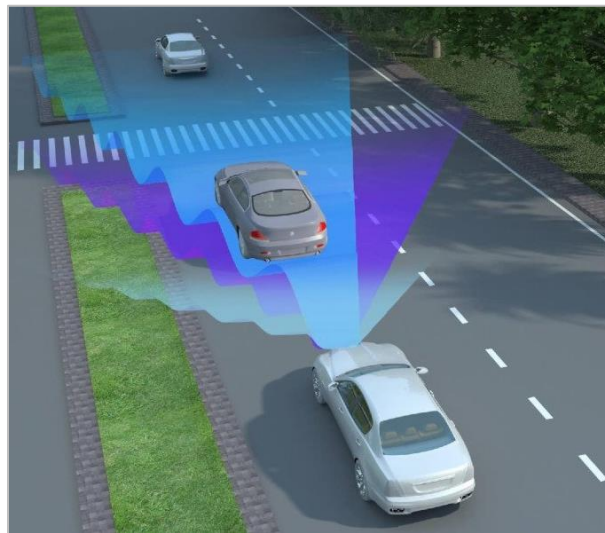
Slika 2. Razlika između načina rada kamera, lidara, radara i GPS-a

Izvor: [7]

Automatizirani automobili osim nabrojanih senzora mogu koristiti i sonar za otkrivanje objekata iz okoline, komunikaciju s njima te za navigaciju, ali sonarni senzori su ograničeni brzinom zvuka pa ponekad otkrivaju i nepostojeće objekte.

2.3.1. Radar

Radar (engl. Radio Detecting and Ranging) predstavlja glavni senzor za prepoznavanje objekata na većim udaljenostima te funkcionira na način da odašilje radio valove kako bi prepoznao i pratio objekte. Odašlani radiovalovi se reflektiraju od objekata i na taj način daju informacije o smjeru, udaljenosti i veličini svakog objekta. Neki tipovi radara rade na način da usporede dva očitavanja dok drugi tipovi radara koriste Dopplerov efekt kako bi izmjerili brzinu kretanja objekata. Prednost radara se očituje u tome što radi pri velikim brzinama i neovisan je o svjetlosnom okruženju, odnosno nesmetano radi bilo da je riječ o izravnoj sunčevoj svjetlosti ili o potpunom mraku. U odnosu na sve druge senzore na vozilu, radar najbolje radi u uvjetima kiše ili magle, no nedostaci su što ima ili isključivo uzak kut djelovanja i dalek domet (preko 200 m) ili širok kut djelovanja i kratak domet što je vidljivo na slici 3 [8].



Slika 3. Detekcija objekta pomoću radara, [9]

Važno je i napomenuti da radar dobro percipira metalne objekte, ali mnoge nemetalne objekte u velikom broju slučajeva ne uspijeva detektirati.

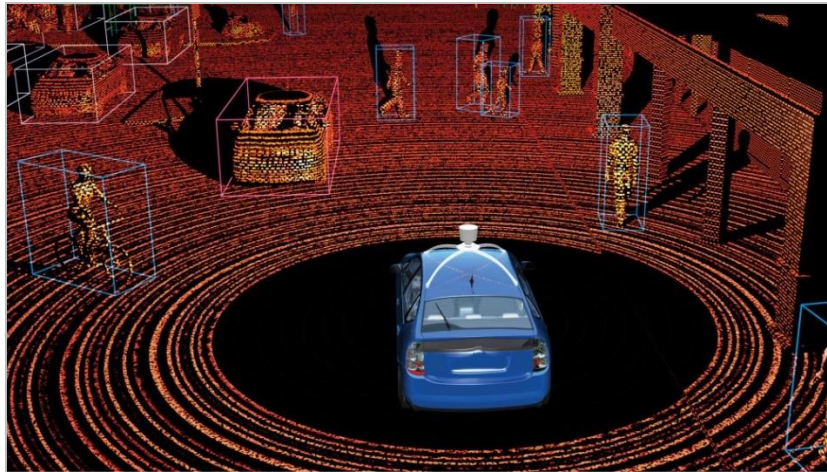
2.3.2. Lidar

Lidar (engl. Light Detection and Ranging) se koristi za 3D mapiranje visoke rezolucije te se koristi i za pozicioniranje na područjima gdje satelitski signal nije dostupan. Trenutno najveći nedostatak predstavlja njegova visoka cijena te nije u potpunosti pouzdan u lošim vremenskim uvjetima poput kiše, snijega i magle. Osim toga, ne daje točne rezultate ukoliko se na samom senzoru pojavi nečistoća poput blata ili snijega [8].

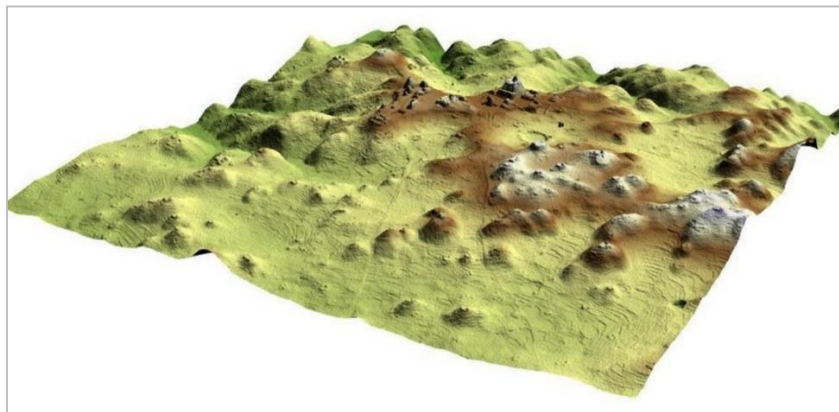
Lidar funkcionira na način da šalje nekoliko tisuća snopova infracrvenog laserskog svjetla u okolinu (laserske zrake pulsiraju) te se potom reflektiraju od objekata pri čemu se stvara

point cloud te se na taj se način izrađuju objekti iz okoline. Svaki piksel predstavlja izračunatu udaljenost do objekta koja se dobije tako što se izmjeri vrijeme koje je potrebno laserskoj zruci da se reflektira od objekt.

Osim toga, suvremeni lidar razlikuje bicikliste, pješake i druga vozila te raspoznaje kojom se brzinom i smjerom kreću (slika 4), a primjer karte izrađene pomoću lidara nalazi se na slici 5.



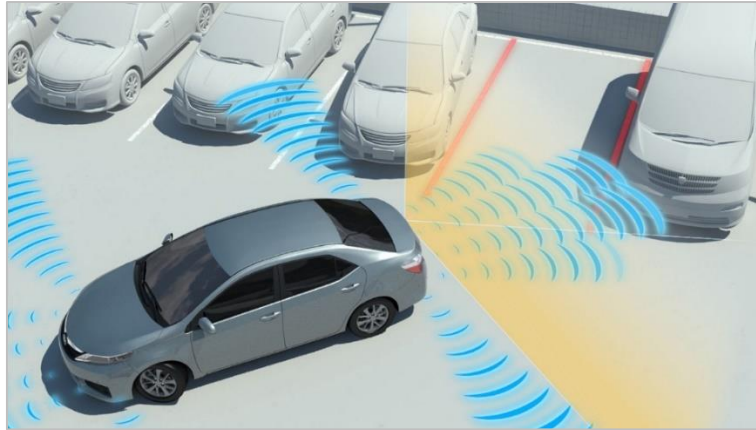
Slika 4. Detekcija objekata pomoću lidara, [10]



Slika 5. Karta izrađena pomoću lidara, [10]

2.3.3. Ultrazvučni senzor

Ultrazvučni senzori odašilju akustične valove pomoću kojih se mjeri udaljenost do objekta te se najčešće koriste se kao pomoć pri parkiranju što je vidljivo na slici 6 [8].



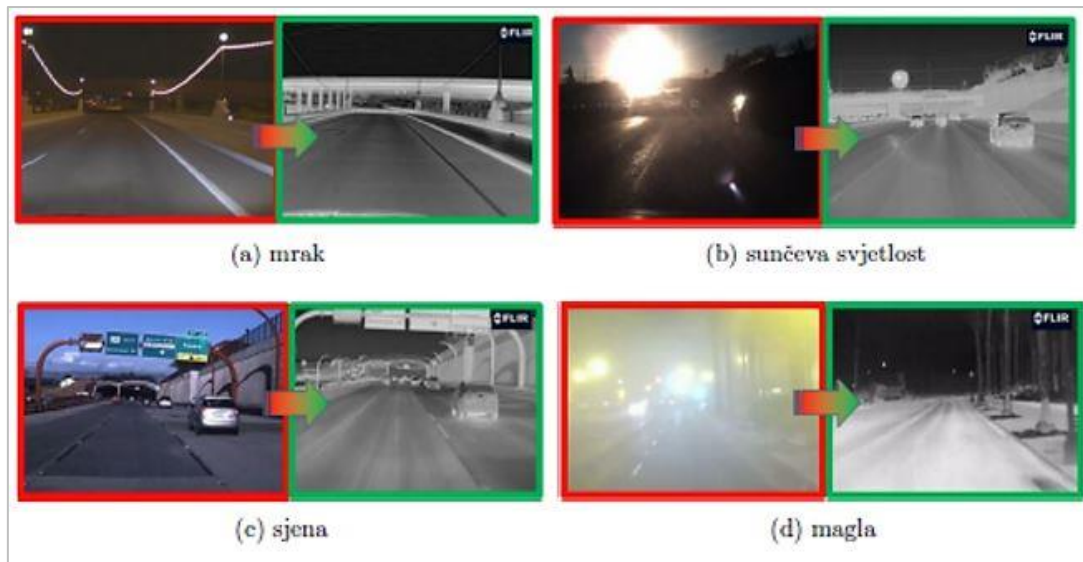
Slika 6. Odašiljanje akustičnih valova pomoću ultrazvučnih senzora, [11]

Prednosti ultrazvučnih senzora očituju se u neovisnosti o svjetlu te funkcioniraju u svim vremenskim uvjetima sve dok nisu prekriveni snijegom, ledom ili blatom. Glavni nedostatak je taj što imaju malen domet djelovanja te što na njihov rad utječe zvuk visoke frekvencije iz okoline. Shodno tome, pogrešni izračuni mogu uzrokovati krive procjene udaljenosti objekata no zbog velikog kuta djelovanja ultrazvučnih valova, može se odrediti točna pozicija detektiranih objekata korištenjem trilateracije [8].

2.3.4. Kamera

Za percepciju, automatizirana vozila koriste kamere koje služe za razumijevanje osnovnih značajki okoline poput oznaka na cesti, prometnih znakova i semafora.

Kamera predstavlja jedan od prvih senzorskih sustava koji su se koristili u početku razvoja automatiziranih vozila. Kamere pasivno primaju svjetlosne valove za razliku od do sada spomenutih senzora, ali pak ne odašilju nikakav oblik energije. Nedostatak kamere očituje se u osjetljivosti na svjetlost i vremenske uvjete odnosno ne daje točne podatke na direktnoj sunčevoj svjetlosti kao ni za vrijeme snijega, magle ili kiše. Zbog navedenih razloga su se u posljednje vrijeme počele koristiti hiperspektralne kamere jer pružaju dobre informacije po magli i manje su osjetljive na direktnu sunčevu svjetlost i mrak što je vidljivo na slici 7 [8].



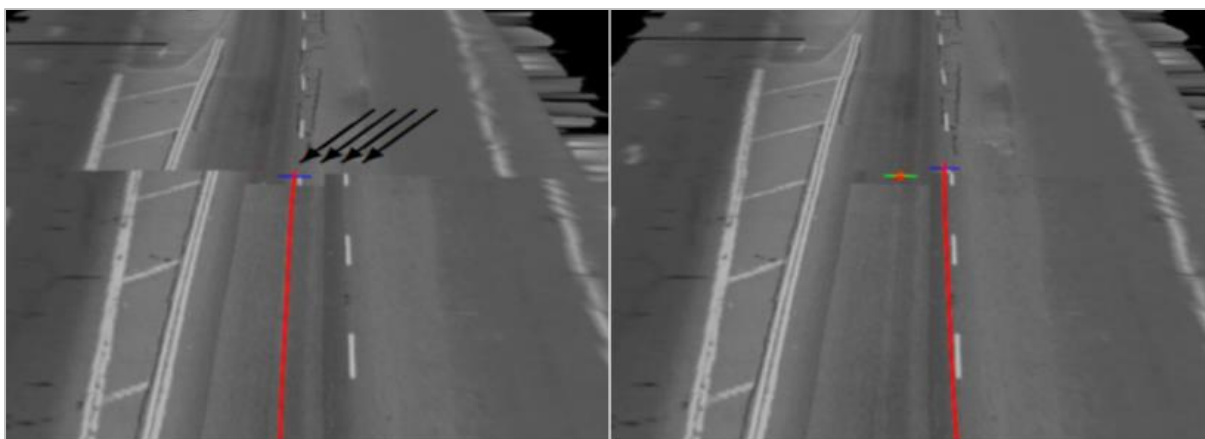
Slika 7. Hiperspektralna kamera u različitim uvjetima rada, [8]

Važno je napomenuti da je kameri potrebno puno energije da procesuirala podatke što joj se također može pripisati kao dodatni nedostatak dok algoritmi koji obrađuju primljene podatke trenutno još uvijek nisu u potpunosti pouzdani kod tumačenja vizualnih podataka.

2.3.5. GPS

Automatizirana vozila koriste senzorske sustave za lokalizaciju, odnosno za određivanje vlastitog položaja. Da bi se odredio položaj vozila, ključno je korištenje globalnog navigacijskog sustava pozicioniranja, primjerice GPS-a.

Globalni pozicijski sustav (engl. Global Positioning System - GPS) služi za određivanje lokacije vozila, izračunavanje ruta i daje vozaču upute kako da stigne do odredišta. Prijemniku je za rad neophodno osigurati signal od barem četiri različita satelita kako bi se dobila točna lokacija vozila. Od ukupno četiri potrebna satelita, tri satelita koriste se za određivanje dužine, širine i visine, dok se četvrti koristi za još precizniji izračun. GPS prijemnici su sa financijske strane pristupačni te su dostupni u velikoj mjeri zahvaljujući njihovoj primjeni u pametnim telefonima. Trenutno najveći problem kod GPS-a se očituje u tome što putanja signala između prijemnika i satelita može biti prekinuta zbog visokih zgrada ili tunela, dok GPS najbolje funkcionira na otvorenim područjima. Uz to, javno dostupni GPS postiže točnost s odstupanjem do tri metra što se može vidjeti na slici 8 i time ne zadovoljava uvjete za sigurnu vožnju u potpuno automatiziranom vozilu [8].



Slika 8. GPS odstupanje, [8]

2.3.6. IMU

Uz GPS se obično koristi i inercijski navigacijski sustav kako bi se greška smanjila na najmanju moguću razinu u uvjetima lošeg prijema. Inercijski navigacijski sustav odnosno inercijske mjerne jedinice kontinuirano izračunavaju položaj, orijentaciju i brzinu vozila uz pomoć žiroskopa i akcelerometara. Osim toga, ovaj sustav pomaže automobilima u odluci treba li poduzeti bilo kakve zaštitne sigurnosne radnje.

IMU (engl. Inertial Measurement Unit - IMU) je uređaj koji se koristi na mjestima gdje satelitski signal nije dostupan. Temelji se na parametrima koji se mogu izmjeriti u svim uvjetima zbog čega automatizirana vozila u svakom trenutku mogu dobiti informacije od ovih senzora. Glavni nedostatak je taj što se greške mogu dogoditi radi proklizavanja kotača ili nailaska na rupe na kolniku [8].

2.3.7. Odometrijski senzor

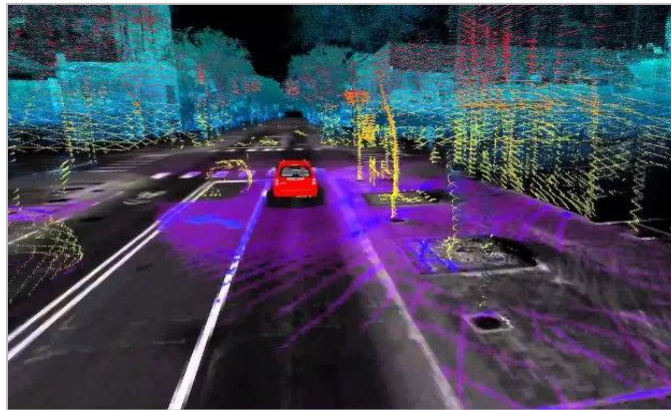
Odometrijski senzori daju informaciju o brzini kotača i služe za mjerenje udaljenosti koje vozilo prijeđe na način da se pomnoži broj okretaja kotača i opseg gume. Prednost ovih senzora je ta što su prilično jeftini, a suvremeni odometrijski senzori mogu detektirati brzinu kotača od čak 0.1 km/h. S druge strane, nedostatak im je taj što su osjetljivi na pogreške koje se događaju zbog proklizavanja ili neravnih površina pa se iz tog razloga očitavanja kombiniraju s drugim sensorima poput GPS-a ili IMU-a te se koriste razni algoritmi da bi se odredila pozicija kotača [8].

2.4. Percepcija, planiranje rute putovanja i kontrola

Kada je riječ o percepciji automatiziranih vozila, taj pojam predstavlja sposobnost vozila da bude svjesno okoline u kojoj se nalazi. Podaci koji se dobiju od senzora trebaju se

obraditi kako bi se dobila konačna slika okoline. Dobra percepcija preduvjet je za brze i sigurne operacije koje obavlja automatizirano vozilo, dok se percepcija može podijeliti u dvije podfunkcije, a to su istovremena lokalizacija i mapiranje (engl. Simultaneous localization and mapping - SLAM) te detektiranje i praćenje objekata u pokretu (engl. Detection and Tracking of Moving Obstacles - DATMO). Lokalizacija je po svojoj definiciji proces određivanja pozicije i orijentacije vozila s obzirom na kartu koja može biti globalna za vožnju po javnim cestama ili može biti ograničena, primjerice za vožnju u tvornici [8].

SLAM je tehnologija koja se koristi za orijentaciju vozila, a može se vidjeti na slici 9. U bliskoj budućnosti SLAM bi mogao omogućiti automatiziranim vozilima autonomnu vožnju u područjima gdje karte nisu dostupne ili gdje dostupne karte nisu u potpunosti točne.



Slika 9. Istovremena lokalizacija i mapiranje – SLAM, [12]

Automatizirana vozila većinom se kreću u prostorima koja su već točno mapirana što pojednostavljuje proces lokalizacije, a lokalizacija ima preduvjet da su precizne karte javno dostupne. Međutim, takve precizne i detaljne karte u velikom broju slučajeva nisu javno dostupne stoga trebaju biti generirane s čime se dolazi do procesa mapiranja. Mapiranje je proces stvaranja tih karti, a izbor tipa karte koja se koristi ovisi o sensorima na vozilu, memoriji i procesorskoj snazi računalne platforme, algoritmima i dr. Sensori koji se upotrebljavaju su lidar, radar i kamere. Najpoznatija karta koja se koristi u automatiziranim vozilima je karta mreža zauzeća u kojoj je okolina prikazana kao mreža, a svaka ćelija sadrži vjerojatnost zauzeća. Negativna strana karte mreže zauzeća je ta što prikazuje mnoge nepotrebne dijelove, odnosno prazne prostore. Karte značajki okolinu prikazuju točkama, linijama ili geometrijskim oblicima i koriste u jednostavnijim okruženjima. Karte značajki kompaktnije su u odnosu na kartu mreža zauzeća [8].

Karte visoke razlučivosti (engl. High-definition map) predstavljaju karte koje daju detalje o okolini često i do centimetarske razine. Ove karte uključuju sve one detalje koje bi vozač uočio tijekom vožnje kao što su oznake na kolniku, polumjeri zavoja, nagibi kolnika i dr. Visoka razina detalja koju pružaju karte visoke razlučivosti pomaže automatiziranim vozilima da predvide ponašanje i poduzmu intervenciju ako je potrebno [13].

Planiranje podrazumijeva odgovor na pitanje kako stići do odredišta te se sastoji od planiranja rute, bihevioralnog planiranja i planiranja kretanja. Planiranje rute određuje najbolju rutu od trenutne lokacije do odredišta uz pomoć informacija o cestovnoj mreži koje pruža karta. Bihevioralno planiranje odabire najbolji način kojim se može doći do sljedeće točke puta s time da uzima u obzir stanje na cestama. Planiranje puta pronalazi najkraći geometrijski put na kojem nema zastoja, a kako bi se to postiglo, informacije koje pruža karta trebaju se povezati s informacijama koje daju senzori [8].

Kontrola vozila ima zadatak izvršiti odluku koja je donesena u prethodnim koracima, a neke od mogućnosti kontrole vozila su ostajanje unutar trake, prilagodljivi tempomat, promjena trake i dr. [8].

2.5. Napredni sustavi pomoći vozaču

Napredni sustavi pomoći vozaču (engl. Advanced driver-assistance system - ADAS) otkrivaju potencijalne opasnosti na cesti nadgledanjem i kontroliranjem raznih parametara vozila i njegove okoline, a razvijeni su kako bi unaprijedili cjelokupnu sigurnost cestovnog prometa te kako bi smanjili mogućnost ljudske pogreške. Vozilo može biti opremljeno različitim sustavima koja upozoravaju vozača na opasne situacije u prometu, dok pojedini sustavi reagiraju i umjesto vozača.

Uobičajene funkcije ADAS sustava uključuju [14]:

- Prilagodljivi tempomat
- Sustav za održavanje vozila u prometnoj traci
- Sustav za nadzor mrtvog kuta,
- Sustav automatskog kočenja
- Upozorenje na sudar sprijeda i drugi

Prilagodljivi tempomat (engl. Adaptive Cruise Control - ACC) sustav je koji omogućuje prilagodbu brzine i sigurnu udaljenost od vozila ispred bez korištenja papučice gasa ili kočnice. Nakon podešavanja željene brzine vožnje pomoću tempomata, sustav automatski prilagođava

brzinu trenutnoj situaciji odnosno prati promet ispred vozila. Osim toga, održava sigurnosni razmak prema vozilu koje se nalazi ispred [14].

Sustav za održavanje vozila u prometnoj traci (engl. Lane Keeping System – LKS ili engl. Lane Keeping Assistance – LKA) i sustav za pomoć pri promjeni trake (engl. Lane Change Assistant – LCA ili engl. Lane Departure Warning – LDW) služi kako bi se smanjile prometne nesreće pri velikim brzinama koje se često događaju na autocestama te prometne nesreće uzrokovane slijetanjem vozila s ceste. Navedeni sustavi koriste optičko prepoznavanje oznaka na cestama uz pomoć kamera koje se nalaze na vozilu [14].

Sustav za nadzor mrtvog kuta (engl. Blind Spot Detection – BSD ili engl. Blind Spot Warning – BSW) sustav je otkrivanja predmeta unutar mrtvog kuta pomoću stalnog nadziranja područja pokraj vozila. Ovaj sustav upozorava vozača zvučnim ili vizualnim signalom ako je otkriveno vozilo u mrtvom kutu u vremenu kada je uključen pokazivač smjera na vozilu [14].

Sustav automatskog kočenja (engl. Automatic Emergency Brake – AEB) aktivira automatsku kočnicu u nuždi ili daje upozorenje za mogući sudar. Za nadziranje prednjih i stražnjih dijelova vozila koriste se senzori kratkog dometa ili radarski senzori dugog dometa. Senzori kratkog dometa rade na brzinama do 50 km/h, dok radarski senzori rade pri brzinama do 200 km/h. Generirani podaci iz ovih senzora tumače se u upravljačkoj jedinici kako bi se poduzele odgovarajuće radnje [14].

Upozorenje na sudar sprijeda (engl. Forward Collision Warning – FCW) predstavlja sustav koji daje upozorenja na frontalni sudar, odnosno pomaže vozaču u izbjegavanju i ublažavanju frontalnih sudara pomoću zvučnih, vizualnih i haptičkih upozorenja ili njihove kombinacije. Navedeni sustav detektira vozila pomoću radara, lidara i kamera te nakon prikupljenih informacija sustav izdaje upozorenje [14].

3. Postojeća infrastruktura u cestovnom prometu

Kako suvremeni cestovni promet zahtijeva sigurno kretanje vozila u svim vremenskim prilikama, po noći i danu, tako je potrebno opremiti cestu i prometnu signalizaciju na način kako bi se promet odvijao nesmetano i na siguran način. Prometni znakovi, signalizacija i oprema ceste postavljaju se na način da ju sudionici u cestovnom prometu mogu pravodobno primijetiti, prepoznati značenje te uskladiti kretanje pomoću primljenih informacija. Kada je oprema ceste i prometna signalizacija na razini koju zahtijeva suvremeni promet, time se povećava sigurnost prometa. Osim toga, važno je da se kontinuirano provode mjere i postupci održavanja cestovne mreže.

3.1. Infrastruktura cestovnog prometa

Javna cesta je prometno-tehnički uređena građevina s podlogom i zastorom za cestovni promet. Osim toga, ujedno je i površina od općeg značaja za promet, kojom se svatko može koristiti uz uvjete određene Zakonom o cestama, ali i drugim propisima [15].

Javna cesta sastoji se od sljedećih elemenata [15]:

- cestovna građevina
- građevine za odvodnju ceste i pročišćavanje otpadnih voda
- priključci na javnu cestu izgrađeni na cestovnom zemljištu
- stabilni mjerni objekti i uređaji za nadzor vozila
- prometni znakovi i uređaji za nadzor i sigurno vođenje prometa i oprema ceste
- građevine i oprema za zaštitu ceste, prometa i okoliša
- građevine na cestovnom zemljištu za potrebe održavanja cesta i pružanje usluga vozačima i putnicima.

3.1.1. Podjela javnih cesta

Javne ceste se mogu razvrstati u četiri podskupine. Prva podjela javnih cesta je prema društvenom, prometnom i gospodarskom značenju [15]:

- autoceste
- državne ceste
- županijske ceste
- lokalne ceste.

Druga podjela javnih cesta je prema vrsti prometa [15]:

- ceste za motorni promet
- ceste za mješoviti promet.

Ceste za motorni promet se dijele na autoceste i ceste rezervirane za promet motornih vozila (brze ceste) [16].

Treća podjela javnih cesta je prema vrsti terena (konfiguraciji) i stupnju ograničenja za projektiranu trasu [15]:

- ceste u nizinskom terenu - bez terenskih ograničenja
- ceste u brežuljkastom terenu - neznatno ograničenje
- ceste u brdskom terenu - znatno ograničenje
- ceste u planinskom terenu - veliko ograničenje.

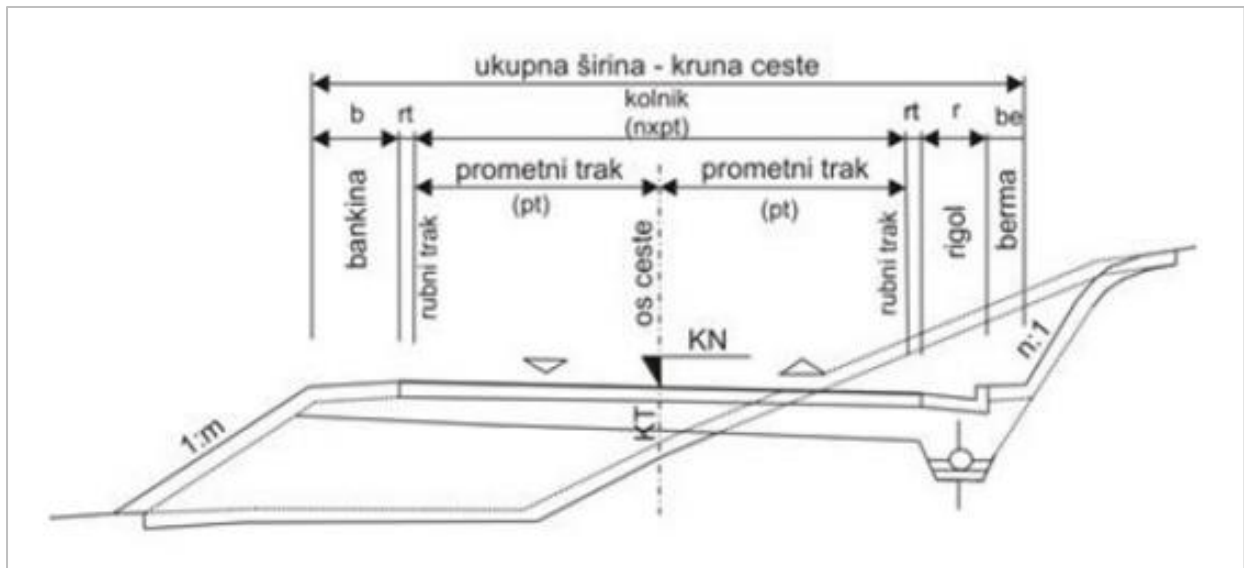
Četvrta, ujedno i posljednja podjela javnih cesta je prema veličini motornog prometa izraženog prema PGDP-u (prosječnom godišnjem dnevnom prometu), odnosno prema broju očekivanih motornih vozila na kraju planiranog razdoblja tijekom 24 sata u oba smjera, javne ceste se dijele na autoceste/brze ceste i pet razreda [15].

3.1.2. Elementi poprečnog presjeka ceste

Kruna ceste je dio poprečnog presjeka ceste, a čine je sljedeći elementi [15]:

- kolnik s prometnim i pretjecajnim trakovima
- dodatni trakovi (zaustavni, za spora vozila)
- rubni trakovi
- rigoli
- razdjelni pojas
- bankine
- nogostupi
- biciklističke staze.

Osnovi elementi poprečnog presjeka ceste prikazani su na slici 10.



Slika 10. Poprečni presjek ceste, [17]

Kolnik je dio cestovne površine namijenjen prvenstveno za promet vozila koji obuhvaća prometne, pretjecajne, rubne, zaustavne i dodatne trakove. Kolnički trak je dio kolnika za promet u jednom smjeru, a sastoji se od jednog ili više prometnih trakova, dok je prometni trak dio kolničkog traka namijenjen kretanju jednog prometnog toka, odnosno kretanju vozila u jednom smjeru. Broj prometnih trakova određuje se prema značenju ceste, gustoći prometa i traženoj propusnoj moći ceste. Širina prometnog traka kreće se od 2,75 (2,50) do 3,75 m [15], a detaljnije je prikazana u tablici 2.

Tablica 2. Širina prometnog traka u odnosu na projektnu brzinu

| V_p | 120 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\check{S}(m)$ | 3,75 | 3,75 | 3,50 | 3,25 | 3,00 | 3,00 | 2,75 | 2,75 |

Izvor: [17]

Trak za zaustavljanje predviđen je na autocestama, ali i na brzim cestama, neposredno uz rubni trak ili uz rubnu crtu s desne strane kolnika. Ovisno o terenskim uvjetima, trak za zaustavljanje predviđa se na cijeloj duljini ili na određenim dijelovima trase. Trakovi za zaustavljanje vozila u pravilu su neprekinuti, osim u tunelima, na dugim mostovima, na dijelovima gdje se predviđa trak za spora vozila te na dijelovima raskrižja gdje se predviđa trak za ubrzanje ili usporenje. Širina zaustavnog traka iznosi 2,50 m na autocestama, odnosno 1,75 – 2,50 m na brzim cestama [15].

Trak za sporu vožnju se izvodi na većim usponima dionice ceste gdje nije moguće pretjecanje, a njime se kreću teža vozila zbog smanjene brzine da ne ometaju promet ostalih vozila i da ne smanjuju sigurnost te propusnu moć ceste. Izvodi se uz kolnik na području većih

ili duljih uspona na autocestama i cestama 1. i 2. razreda. Širina traka iznosi od 3,0 do 3,25 m [15].

Uloga rubnih trakova očituje se u tome sigurno obrubljuju kolnik i služe za iscrtavanje horizontalne signalizacije. Izvode se s obje strane kolnika te su predviđeni kao granični vizualni elementi u funkciji sigurnosti prometa, te je važno napomenuti da širina rubnog traka ovisi o širini prometnog traka što je prikazano u tablici 3 [15].

Tablica 3. Odnos širine prometnog traka i rubnog traka

| <i>Prometni trak (m)</i> | <i>Rubni trak (m)</i> |
|--------------------------|-----------------------|
| 3,75 | 0,50 |
| 3,50 | 0,35 |
| 3,25 – 3,00 | 0,30 |
| 2,75 | 0,20 |

Izvor: [17]

Razdjelni pojas izvodi se u presjeku ceste kada je zbog sigurnosti prometa potrebno fizički razdvojiti dva kolnika s prometom u suprotnim smjerovima. Kod autocesta koje imaju četiri i više prometnih trakova razdjelni pojas se izvodi u širini od 4,0 m, a minimalno 3,0 m. Razdjelni pojas se može predvidjeti kod cesta 1. razreda u slučaju većeg prometnog opterećenja i osiguranja sigurnosti prometa te širina razdjelnog pojasa u tome slučaju iznosi 2,0 m [15].

Bankina se nalazi neposredno uz rubni trak, na dijelu ceste u nasipu ili zasjeku, dok se u usjecima bankina izvodi kao berma neposredno uz rigol (uređaj za odvodnju), a služi za sprečavanje odrona stijenskog materijala na prometni trak i povećanje preglednosti u zavoju ceste. Osim toga, bankina služi za [15]:

- smještaj prometnih znakova
- smještaj smjerokaznih stupića
- smještaj zaštitnih ograda
- zaustavljanje vozila u nuždi.

Nogostup je posebno uređena prometna površina namijenjena za kretanje pješaka, koja nije u razini s kolnikom ceste ili je od kolnika odvojena na drugi način. Nogostupi u urbanim zonama postavljaju se paralelno uz kolnik, duž ceste i predstavljaju okosnicu mreže pješačkih prometnica. Integralni su dio sustava cjelokupne gradske prometne mreže. Na prometnicama s jakim prometom nogostupi se prostorno razdvajaju od kolnika (horizontalno i vertikalno).

Vertikalno razdvajanje je najčešće uz pomoć izdignutog rubnjaka, a horizontalno u kombinaciji s vertikalnim dodatno povećava sigurnost pješaka. Nogostup treba imati širinu od najmanje 1,50 m [15][18].

Biciklistička staza je izgrađena prometna površina namijenjena za biciklistički promet koja je odvojena od kolnika i obilježena propisanim prometnim znakom. Biciklističke staze u naselju, koje se od kolnika odvajaju tlocrtno, moraju od ruba kolnika biti udaljene minimalno 1,0 m, a one koje se od kolnika odvajaju visinski najmanje 12 cm, moraju od ruba kolnika biti udaljene minimalno 0,50 m. Iznimno, u slučaju nedostatka prostora, umjesto minimalne udaljenosti može se postaviti ograda [15][18].

3.1.3. Nosivi ustroj ceste

U konstrukcijskom smislu cesta se sastoji od gornjeg i donjeg ustroja. Zadaća donjeg ustroja ceste je preuzeti prometno opterećenje i čitavu konstrukciju gornjeg ustroja. Gornjim se ustrojem podrazumijeva dio ceste koji izravno preuzima sva opterećenja nastala zbog prometa vozila te ga potom prenosi na donji ustroj ceste.

Pod donjim ustrojem ceste podrazumijeva se [15]:

- zemljani trup
- građevine (objekti):
 - mostovi
 - tuneli
 - propusti
 - vijadukti
 - potporni zidovi
 - obložni zidovi i dr.

S druge strane, gornji ustroj predstavlja dio ceste koji izravno preuzima sva opterećenja od vozila u prometu i prenosi ih na donji ustroj ceste te se često terminološki poistovjećuje s kolničkom konstrukcijom [15]:

Gornji ustroj ceste, odnosno kolnik, sastoji se od dva glavna dijela [15]:

- cestovnog zastora
- podloge.

3.1.4. Prometna signalizacija

Prometna signalizacija treba biti postavljena na pravilan način te kao takva, uz redovito održavanje, ima vrlo važnu ulogu za sigurno kretanje svih sudionika u prometu.

Prometnu signalizacija čine oznake, znakovi, oprema i uređaji za vođenje i sigurno odvijanje prometa. Njihova zadaća je prometnom korisniku prenijeti obavijest o trenutačnom ili budućem stanju prometnoga sustava, brzini kretanja i položaju korisnika u sustavu, preporučenom i obveznom načinu kretanja i dr. Obavijest se korisniku može izravno prenijeti vizualno, slušno, dodirrom, ili posredstvom uređaja u prometalu. U cestovnom prometu dijeli se na horizontalnu, vertikalnu i svjetlosnu signalizaciju te prometno-sigurnosnu opremu [19].

Horizontalna signalizacija obuhvaća oznake na kolniku koje se ucrtavaju, lijepo, ugrađuju ili utiskuju u kolnički zastor. U pravilu su bijele, a iznimno žute ili druge boje. Razvrstavaju se na uzdužne oznake (pune, isprekidane i dvostruke crte) koje imaju minimalnu širinu na kolniku od 10 cm, poprečne (crte, trokuti, kosnici, graničnici, pješački i biciklistički prijelazi) i ostale oznake (strelice, prometni otoci, natpisi, parkirališna mjesta) [19][20].

Oznake na kolniku ne smiju povećavati skliskost kolnika, ne smiju biti više od 0,6 cm iznad razine kolnika te moraju imati razinu retrorefleksije koja je utvrđena normom. Nadalje, narančastim oznakama obilježava se privremena opasnosti na cesti (privremena regulacija prometa), dok se žutom bojom obilježavaju sljedeće oznake [20]:

- oznake mjesta na kolniku i nogostupu na kojima je zabranjeno parkiranje
- isprekidana crta za odvajanje traka za kretanje vozila javnog prijevoza putnika
- oznake kojima se obilježavaju mjesta za određene namjene (autobusna stajališta, taksivozila, policija i i dr.)
- kosnici.

Vertikalnu signalizaciju čine prometni znakovi opasnosti, izričitih naredbi, obavijesti, obavijesti za vođenje prometa i promjenjivi prometni znakovi. Postavljaju se uz desnu stranu kolnika ili iznad kolnika (konzolni i portalni znakovi). Oblici, izmjere, boje i mjesta postavljanja prometnih znakova propisani su pravilnikom. S druge strane, dopunske ploče pobliže određuju značenje prometnih znakova [19].

Svjetlosnu signalizaciju čine prometna svjetla (semafor) i svjetleći znakovi. Prometnim se svjetlima upravlja prometom vozila (motornih vozila, tramvaja, biciklistički promet) i pješaka, obilježavaju prijelazi ceste preko željezničke pruge i upozorava na radove na cesti.

Svjetlosnu signalizaciju čine i smjerokazni stupići (s reflektirajućim ploham) i svjetleći stupovi [19].

Prometno-signalizacijsku opremu čine označivači ruba kolnika (smjerokazni stupići, reflektirajući znakovi, štapovi za snijeg), označivači radova, zapreka i oštećenja kolnika (ploče, branici, stupovi, stošci, pokretne ploče s treptačima, znakovima i svjetlećim strelicama), vodilice i usmjerivači prometa (premjestivi rubnjaci, montažne ograde), ograde za zaštitu (od zasljepljivanja ili prelaska životinja) i prometna zrcala. Radi veće prometne sigurnosti ili posebnih prometno-tehnoloških zahtjeva, prometni znakovi mogu biti i promjenjivi [19].

3.2. Mjerodavne brzine

Osnovu i polazište za određivanje projektno-oblikovnih elemenata ceste uz mjerodavno prometno opterećenje čine projektna i računski brzina, te najveća dopuštena brzina istaknuta na prometnim znakovima.

Pod pojmom mjerodavne brzine podrazumijevaju se sljedeće brzine [16]:

- projektna brzina
- računski brzina
- brzina označena prometnim znakom.

Projektna i računski brzina temelj su za oblikovanje elemenata ceste, a brzina označena prometnim znakom je najveća dopuštena brzina na određenoj dionici ceste [16].

3.2.1. Projektna brzina

Projektna brzina je najveća brzina sigurne vožnje u slobodnom prometnom toku u optimalnim vremenskim uvjetima i pri dobrom održavanju kolnika. Projektna brzina određuje granične vrijednosti tlocrtnih i visinskih elemenata trase [16]:

- minimalni polumjer horizontalne krivine
- maksimalni uzdužni nagib
- elementi poprečnog presjeka ceste.

Ako cesta prolazi različitim konfiguracijama terena, vrijednost projektne brzine za pojedine dionice trase mogu biti različite, a ona se određuje projektom zadatkom ovisno o [16]:

- kategoriji ceste
- konfiguraciji terena
- najvećoj zakonom dopuštenoj brzini.

3.2.2. Računska brzina

Računska brzina je najveća očekivana brzina koju vozilo u slobodnom prometnom toku može ostvariti na određenom dijelu ceste uz dovoljnu sigurnost te ovisi o tlocrtnim i visinskim elementima tog dijela trase. Na temelju računske brzine, određuju se geometrijski elementi trase koji izravno utječu na sigurnost vožnje [16]:

- poprečni nagib kolnika u krivini
- potrebna duljina preglednosti
- polumjeri vertikalnih krivina
- najmanji polumjer horizontalne krivine sa suprotnim poprečnim nagibom kolnika.

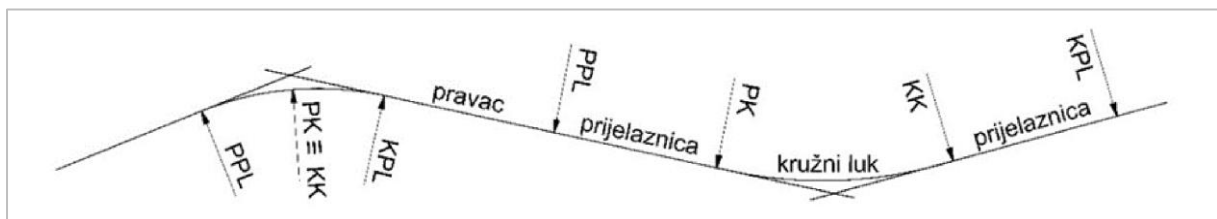
Računska brzina se određuje pomoću projektiranih tlocrtnih i visinskih elemenata trase prema [16]:

- najmanjem primijenjenom polumjeru horizontalne krivine
- najvećem primijenjenom uzdužnom nagibu.

Razlika između najmanje i najveće računske brzine na istoj dionici ne smije biti veća od 15 km/h, dok razlika između računske i projektne ne smije biti veća od 20 km/h [16].

3.4. Horizontalno vodenje linije

U tlocrtu, linija osi ceste sastoji se od pravaca, kružnih lukova i prijelaznih krivina što je prikazano na slici 11. Pri polaganju trase treba težiti ispruženom vođenju linije, odnosno treba nastojati primijeniti polumjer veći od minimalno dopuštenih vrijednosti za određenu projektnu brzinu, a ujedno mogućnost zadovoljenja navedenog ovisi o terenu kojim cesta prolazi. U brežuljkastom, brdskom i planinskom terenu pravac može izostati, tako da se linija ceste u tlocrtu sastoji isključivo od kružnih lukova i prijelaznih krivina. Pravac je preporučljivo izbjegavati u ravničarskom terenu jer time se pridonosi skladnijem vođenju linije. S druge strane, kružni luk ne može izostati i njegova je najmanja duljina određena propisima [16].



Slika 11. Tlocrtni elementi ceste, [21]

3.4.1. Pravac

Pravac se primjenjuje u nekoliko slučajeva: u ravnici i širokim dolinama, na prilazima ceste naseljima, na potezima cestovnih čvorišta, pri prijelazu preko željezničkih pruga i dr. Propisi upućuju na izbjegavanje pravca kao elementa trasiranja, zbog krutog, neharmoničnog toka linije i loše prilagodbe konfiguraciji terena.

Kada je riječ o poprečnom nagibu kolnika u pravcu, nesmetanu odvodnju površinske vode s vozne površine osigurava poprečni nagib kolnika čija vrijednost ovisi o vrsti zastora (hrapavosti), odnosno što je cestovni zastor manje hrapav, to je poprečni nagib manji. Kolnik ceste u pravcu može imati jednostrani poprečni nagib, dvostrani poprečni nagib te dvostrani poprečni nagib sa zaobljenom srednjom trećinom [16].

3.4.2. Kružni luk

Vožnja u krivinama je znatno otežana što je vozilo dulje, sa većom brzinom vožnje, na užem kolniku, s manjom duljinom preglednosti i s manjim polumjerom krivine. Krivine treba projektirati na taj način da polumjeri budu što veći, a neposredno nizanje krivina velikih i malih polumjera ne smije se primjenjivati.

Pri konstruiranju cestovnih zavoja posebnu pozornost treba usmjeriti na mogućnost izlijetanja vozila s njegove predviđene putanje, odnosno izlijetanje vozila s ceste. Kako bi se izbjegao takav scenarij, posebnu važnost treba pridodati proračunima stabilnosti vozila na zanošenje i stabilnosti vozila na prevrtanje. Kako bi se zadovoljio uvjet stabilnosti, moment centrifugalne sile u odnosu na dodirnu točku gume i kolnika mora biti manji ili jednak težini vozila. Iz toga proizlazi da stabilnost vozila na prevrtanje ovisi o težini vozila i razmaku njegovih kotača. Sa smanjivanjem polumjera kružnog luka potrebno je povećavati poprečni nagib kolnika do najvećeg dopuštenog nagiba kako bi se zadovoljila stabilnost vozila na zanošenje. Pomoću proračuna dolazi se do minimalnog polumjera zavoja, koji ovisi o projektnoj brzini i čije su vrijednosti prikazane u tablici 4 [21].

Tablica 4. Minimalni polumjeri zavoja ovisno o projektnim brzinama

| V_p (km/h) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
|---------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R_{min} (m) | 25 | 45 | 75 | 120 | 175 | 250 | 350 | 450 | 600 | 750 | 850 |

Izvor: [21]

Glavna razlika između kružnog luka i pravca je ta što kružni luk sadrži centrifugalnu i centripetalnu silu. Ako se tijelo određene mase giba po kružnici određenog polumjera sa stalnom određenom kutnom brzinom, tada na njega djeluju centrifugalna i centripetalna sila.

Centripetalna sila zadržava automobil u zavoju i ona se nalazi u trenju između guma i asfalta. Centripetalna i centrifugalna sila imaju jednake iznose i suprotne smjerove te je centrifugalna sila inercijska sila, a centripetalna nije [22].

3.4.3. Prijelazna krivina

Kada je riječ o obliku prijelazne krivine, klotoida je krivulja kojoj se zakrivljenost proporcionalno povećava s duljinom luka te koja ima ulogu ublažiti djelovanje centrifugalne sile na vozilo na prijelazu iz pravca u kružni luk i obratno. Mijenjanjem obilježja klotoide može se pronaći optimalno rješenje koje zadovoljava kriterije za oblikovanje trase u voznodinamičkom i sigurnosnom smislu.

Pri većim brzinama motornih vozila kod neposrednog prijelaza iz pravca u kružni luk na vozilo i putnike djelovanje centrifugalne sile nastaje naglo. Kako bi se postepeno smanjila centrifugalna sila, ispred kružnog luka se postavlja kružni luk većeg polumjera od polumjera glavnog kružnog luka. Ako se pred glavni kružni luk postavi više kružnih lukova uz postupno smanjivanje polumjera krivina, vrijednost centrifugalnih sila još će se više smanjiti, ali će i dalje dolaziti do naglih promjena vrijednosti centrifugalnih sila prilikom prijelaza iz jednog u drugi polumjer. Rješenje za postupni porast bočne sile između pravca i kružnog luka je prielazna krivina kod koje se zakrivljenost mijenja kontinuirano [16].

Postupnim povećanjem poprečnog nagiba povećava se i komponenta bočne sile uslijed težine vozila. U krivini ta bočna sila djeluje u suprotnom smjeru od djelovanja centrifugalne sile te shodno tome vrijedi da se sa postupnim povećanjem poprečnog nagiba uzduž prielazne krivine smanjuje djelovanje centrifugalne sile [16].

3.4.4. Poprečni nagib kolnika u pravcu

Poprečni nagib kolnika u pravcu izvodi se radi osiguranja nesmetane odvodnje površinske vode s kolnika. Nagib može biti [17]:

- jednostrani
- dvostrani
- dvostrani sa zaobljenjem
- dvostrani parabolčan.

3.4.5. Vitoperenje kolnika

Prijelaz iz poprečnog nagiba u pravcu u poprečni nagib u krivini ili promjene poprečnih nagiba između dvaju istosmjernih ili protusmjernih krivina naziva se vitoperenje kolnika. Vitoperenje se odvija na prijelaznoj krivini i to na način [17]:

- na javnim cestama s dva prometna traka okretanjem kolničke plohe oko osi ceste ili oko nižeg ruba kolnika
- na javnim cestama s 4 i više prometnih trakova, sa srednjim razdjelnim trakom, okretanjem kolnika oko rubova razdjelnih trakova ili oko osi svakog kolnika.

3.4.6. Proširenje kolnika u zavoju

Usljed promjene položaja vozila, odnosno zaokretanja prednjih kotača vozila, vozilo zauzima u zavoju veću širinu od one kod vožnje u pravcu. Radi toga u zavojima izvode se proširenja, a veličinu određuje polumjer zavoja i dimenzije vozila. Proširenje se izvodi s unutarnje strane zavoja (prema središtu zakrivljenosti) [17].

3.4.7. Zaokretnice

Zaokretnice se primjenjuju kod velikih visinskih razlika radi najvećeg uzdužnog nagiba – zavoji malog polumjera i velikog kuta skretanja (oko 180°) na kojima ne vrijedi propisana računaska brzina [17].

3.5. Vertikalno vođenje linije

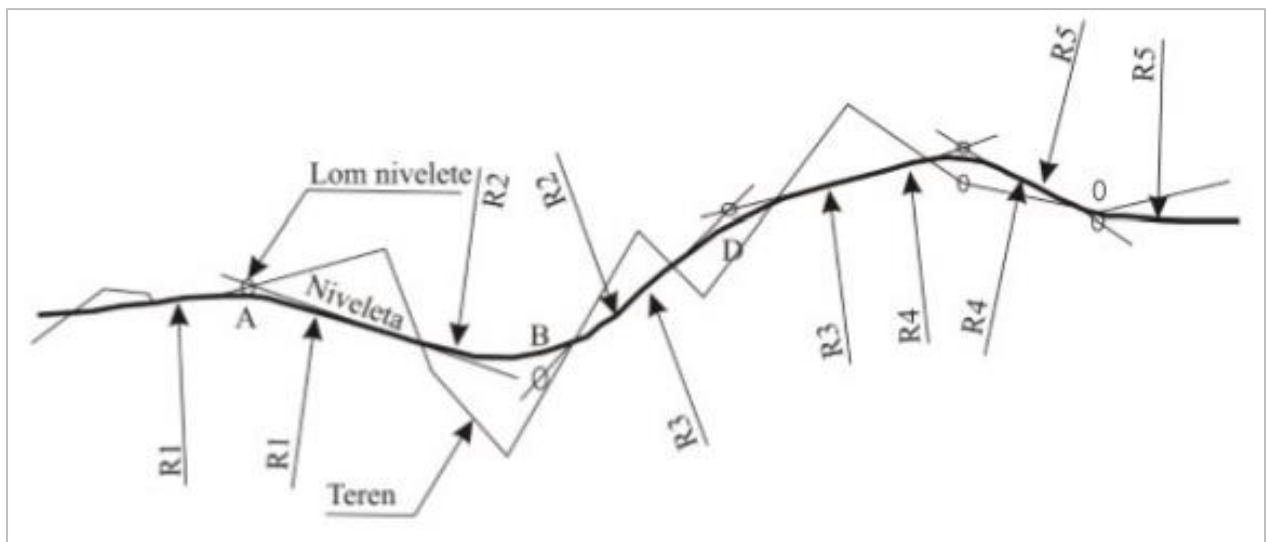
Vertikalno vođenje trase (slika 12) utvrđeno je linijom nivelete, koja je određena kao presjek vertikalne plohe s površinom kolnika te je položena kroz os ceste u situaciji. Ta vertikalna ploha je ravna ako je os u pravcu ili je zakrivljena ako je os u kružnom luku. U geometrijskom smislu niveleta se sastoji od pravaca koji predstavljaju uspone i padove trase, te od kružnih lukova (konveksne i konkavne vertikalne krivine). Uzdužni nagibi nivelete izražavaju se u postocima, dok se polumjeri vertikalnih krivina izražavaju u metrima [16].

Najveće uzdužne nagibe treba primjenjivati isključivo na kratkim dijelovima ceste, a treba ih izbjegavati osobito u zavojima minimalnih polumjera radi ugrožavanja poprečne stabilnosti vozila. Sa malim uzdužnim nagibima smanjuju se smetnje ili zastoji koje na usponima uzrokuju teretna vozila. Najmanji uzdužni nagib ipak mora biti zadovoljen radi odvodnje oborinske vode s kolnika. Izvan područja vitoperenja najmanji poprečni nagib iznosi 0,3% dok je bolje uzeti 0,5%. U područjima s visokim intenzitetom padalina treba povećati

minimalne granice uzdužnih nagiba, a ako se primjenjuju nagibi manji od minimalnog, potrebno je osigurati odvodnju na odgovarajući način [17].

Kod promjene nagiba nivelete nastaju lomovi koji se zaobljuju vertikalnim kružnim lukovima te postoje dvije vrste loma niveleta: konveksan i konkavan. Prilikom određivanja minimalnog polumjera vertikalnog konveksnog zaobljenja nivelete mjerodavna je duljina preglednosti. Prilikom odabira radijusa potrebno je zadovoljiti i sljedeće zahtjeve i preporuke [17]:

- Vertikalni zavoaj prilagoditi obliku linije terena
- Ispuniti uvjet $R \geq R_{min}$
- Izbjegavati kratke vertikalne krivine.



Slika 12. Vertikalno vođenje prometnice, [17]

3.5.1. Konveksno vertikalno zaobljenje

Za određivanje najmanjega polumjera konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete mjerodavni kriterij je osiguranje zaustavne preglednosti između automobila (oka vozača) i nepomične zapreke [23], a formula je sljedeća:

$$R_{min} = \frac{P_z^2}{2 \cdot (\sqrt{h_0} + \sqrt{h_1})^2}$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- R_{min} (m) - najmanji polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja
- P_z (m) - potrebna zaustavna preglednost

- h_0 (m) - visina oka vozača, $h_0 = 1,0$ m
- h_1 (m) - visina skrivenog dijela zapreke
- za $V_r=90$ km/h: $h_1 = 0,25$ m
- za $V_r=100$ km/h: $h_1 = 0,25$ do $0,20$

Najmanji konveksni polumjeri prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Najmanji konveksni polumjer R_{min}

| V_r (km/h) ceste | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
|--------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| R_{min} (m) | 130 | 300 | 600 | 1100 | 1900 | 3200 | 5200 | 8700 | 13000 | 19000 | 27600 |

Izvor: [23]

3.5.2. Konkavno vertikalno zaobljenje

Najmanji polumjer konkavnog vertikalnog zaobljenja navedeni su u tablici 6 te je važno napomenuti da polumjer konkavnog vertikalnog zaobljenja ne smije biti manji od polovine polumjera susjednog konveksnog vertikalnog zaobljenja [23].

Tablica 6. Najmanji konkavni polumjeri R_{min}

| V_r (km/h) ceste | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|
| R_{min} (m) | 130 | 200 | 400 | 750 | 1300 | 2100 | 3500 | 5700 | 8600 | 13000 | 19000 |

Izvor: [23]

4. Interakcija infrastrukture cestovnog prometa i autonomnih vozila

Velik broj prometnih nesreća uzrokovano je ljudskom pogreškom, Unatoč tome, pokazalo se kako napredni sustavi za pomoć u vožnji, kao što su upozorenje o napuštanju prometne trake i automatsko kočenje u nuždi, pridonose sigurnosti u prometu i smanjuju broj teških prometnih nesreća. U Europskoj uniji je u posljednjem desetljeću zabilježen pad broj smrtno stradalih u prometnim nesrećama od 36%. Ovako učinkovitim smanjenju broja smrtno stradalih u prometu velikim je dijelom pridonijela kontinuirana aktivnost u području razvoja vozila i sigurnosnih sustava.

Kada je riječ o autonomnoj vožnji u Hrvatskoj, Zagreb će 2025. godine postati grad u kojem će biti dostupna usluga robotaksi, odnosno bit će omogućeno korištenje usluga potpuno automatiziranih električnih taksija. Tijekom ove godine, prema planu trebala bi krenuti izgradnja specijalizirane infrastrukture za robotaksije, dok slijedeće godine, 2023. slijedi dovršetak proizvodnje verifikacijskih prototipova. Za 2024. najavljuju testiranje svih sustava i pokretanje pilot usluge te u konačnici 2025. planiraju pokrenuti komercijalne usluge s punom funkcionalnošću. Kada je riječ o velikim proizvođačima cestovnih vozila poput Mercedesa i Audiya, oni testiraju i ispituju svoja automatizirana vozila unutar svakodnevnog prometa. Trenutno se testiranja provode uz stalnu prisutnost vozača koji u svakom trenutku ima mogućnost preuzeti upravljanje nad vozilom. Važno je napomenuti da autonomna vožnja u gradu predstavlja veći izazov od autonomne vožnje na autocesti jer se vozila u gradu često zaustavljaju, nailaze na velik broj raskrižja te je prisutan velik broj pješaka i biciklista. Automatizirana vozila testiraju se u Velikoj Britaniji, Švedskoj, Francuskoj, Njemačkoj i Švicarskoj.

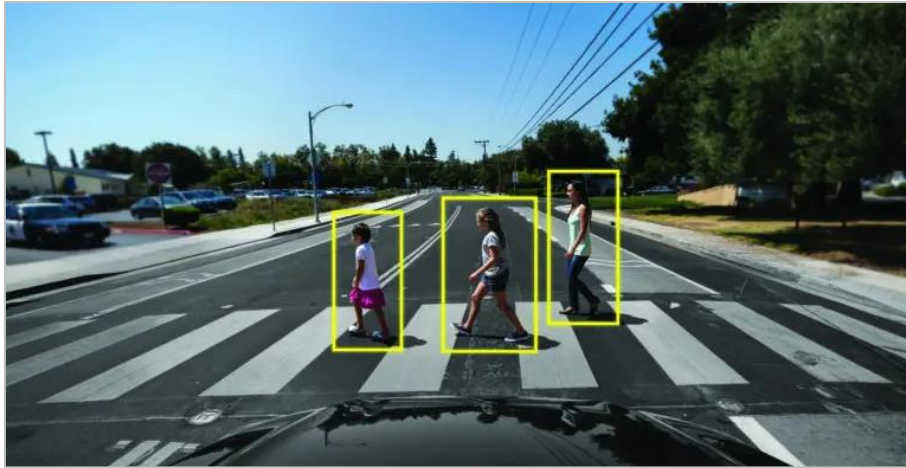
S druge strane, autonomna vožnja predstavlja kompleksan proces te ona funkcionira na način da vozač prvo postavi željeno odredište, softver nakon toga izračunava rutu i potom vozilo započinje putovanje. Planiranje puta podrazumijeva pronalaženje najsigurnijih i najbržih ruta do odredišta. Rotirajući lidar senzor koji je smješten na krovu od automobila, stvara dinamičnu 3D kartu trenutne okoline automobila sa dometom od 60 metara. Senzor na lijevom stražnjem kotaču prati bočno kretanje kako bi otkrio položaj automobila u odnosu na 3D kartu dok istovremeno radarski sustavi koji su smješteni u prednjem i stražnjem braniku izračunavaju udaljenosti do prepreka. Softver umjetne inteligencije u automobilu povezan je sa svim sensorima i dobiva dodatne informacije od Google Street Viewa i od kamera smještenih na vozilu. Umjetna inteligencija (eng. Artificial intelligence – AI) simulira ljudsku percepciju i

proces donošenja odluka te upravlja sustavima vožnje kao što su upravljanje upravljačem vozila i sustavom kočenja. Upravljač se okreće pomoću elektromotora, a pomoću senzora kuta upravljača i senzora skretanja računalo mjeri koliko i u kojem smjeru treba okrenuti upravljač. Informacije od svih senzora se šalju u ugrađeno računalo koje potom izračunava putanju automobila i planira potencijalnu novu rutu putovanja ako dođe do takvog zaključka. Softver automobila konzultira se s Google kartama kako bi unaprijed dobio sve potrebne informacije o orijentaciji vozila, prometnim znakovima i semaforima. U potpuno automatiziranim vozilima je dostupna je funkcija *override* koja omogućuje vozaču preuzimanje kontrole nad vozilom. Kada je riječ o izbjegavanju statičnih i pokretnih prepreka, primjerice pješaka, potpuno automatizirano vozilo koristi strojno učenje za utvrđivanje identiteta određenih objekata te iz toga računalo može predvidjeti njihovo ponašanje. Na primjer, računalo potpuno automatiziranog automobila može razlikovati motocikl od bicikla i prema tome odlučiti kako i na koji način ih izbjeći.

Strojni vid koristi se za većinu naprednih sustava pomoći vozaču, a kako bi strojni vid bio siguran i učinkovit za autonomnu vožnju, infrastrukturni elementi kao što su oznake na kolniku i znakovi trebaju biti lako uočljivi. Strojni vid koji se koristi za ADAS sustave i automatizirana vozila sastoji se od montiranih kamera na vozilu i senzora slike koji unosi podatke koji su u obliku digitalnih slika, u procesor signala slike (engl. Image signal processor - ISP). Nakon toga, ISP pokreće složene algoritme, te podatke šalje u računalo. Glavno računalo tada može poslati upozorenje vozaču ili preuzeti kontrolu nad vozilom, ovisno o razini automatizacije vozila.

Automatizirana vozila oslanjaju se na kamere koje su postavljene sa svake strane - sprijeda, straga, s lijeve i s desne strane vozila kako bi se omogućio pogled od 360 stupnjeva oko vozila [24].

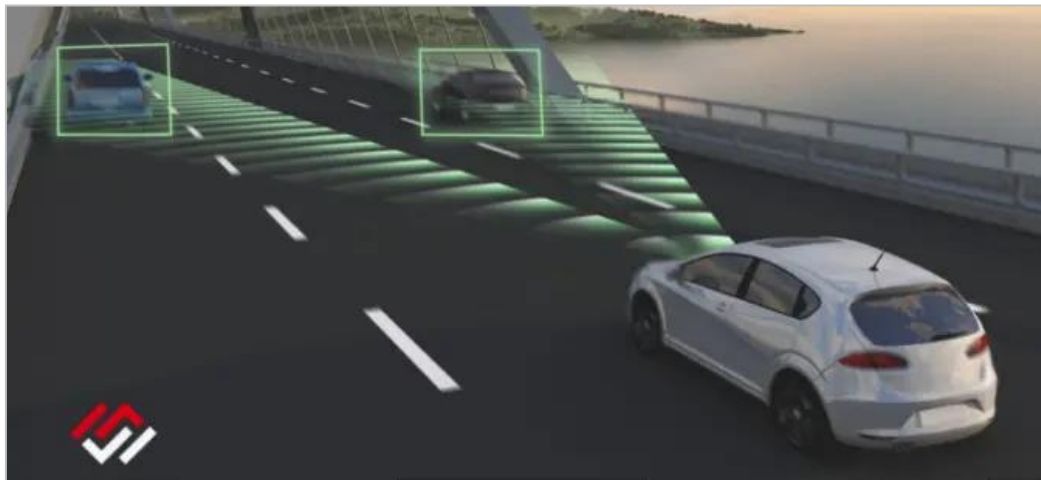
Detekcija pješaka pomoću kamere prikazana je na slici 13.



Slika 13. Detekcija pješaka pomoću kamere, [24]

Radar može dopuniti vid kamere u vrijeme slabe vidljivosti, primjerice u vožnji noću. Osim toga, radarski senzori obično okružuju automobil kako bi otkrili objekte pod različitim kutovima, međutim radarski senzori ne mogu razlikovati različite vrste vozila. Iako su podaci koje pružaju *surround* radar i kamera dovoljni za niže razine autonomije, oni ne pokrivaju sve situacije koje se mogu dogoditi u autonomnoj vožnji [24].

Detekcija objekata pomoću radara prikazana je na slici 14.

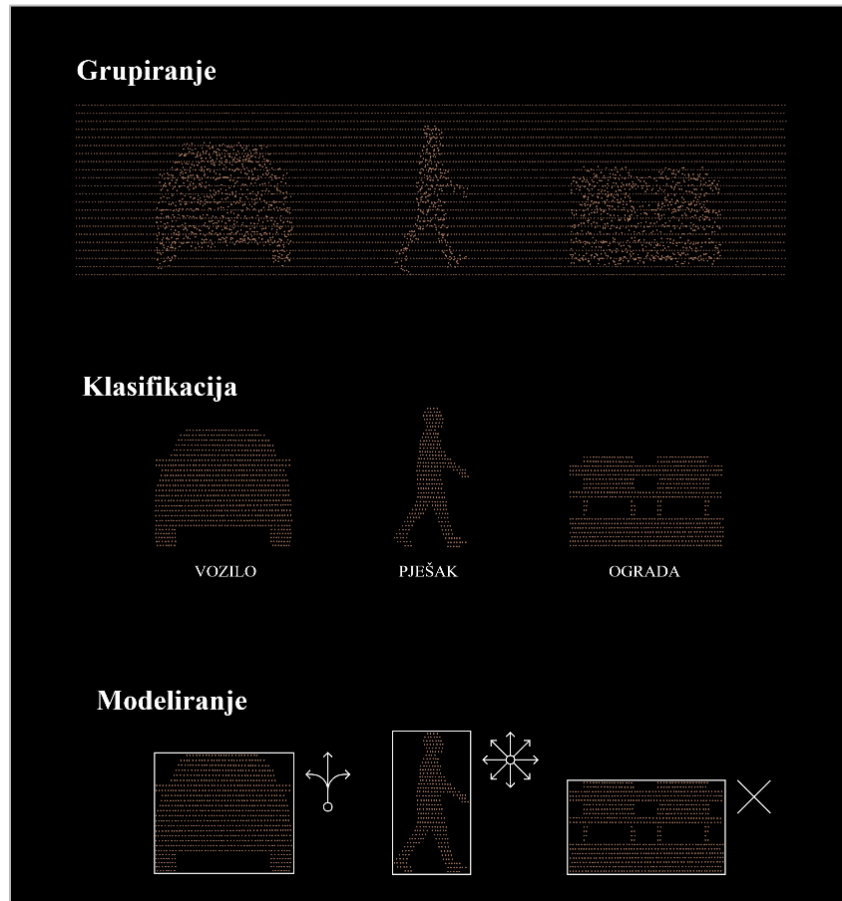


Slika 14. Detekcija objekata pomoću radara, [24]

Lidar može mapirati svoju okolinu brzinom svjetlosti, a način rada lidara vidljiv je na slici 15 te je objašnjen u sljedećim koracima [25]:

- Grupiranje – *point clouds* daju objektima prepoznatljiv oblik
- Klasifikacija – skenirani objekti su identificirani, npr. vozilo, pješak i ograda

- Modeliranje – skeniranim objektima odmah se dodjeljuje mogućnost svih mogućih kretanja – primjerice vozilo se može brzo kretati naprijed i nazad, ali ne i bočno, dok se pješak može kretati u bilo kojem smjeru, ali relativno malom brzinom.



Slika 15. Način rada lidara

Izvor: [25]

Kamere, radar i lidar skupljaju velik broj podataka o okolini automobila, a njihov zajednički rad omogućuje spajanje različitih informacija, poput oblika, brzine i udaljenosti radi dobivanja što točnijih informacija [24].

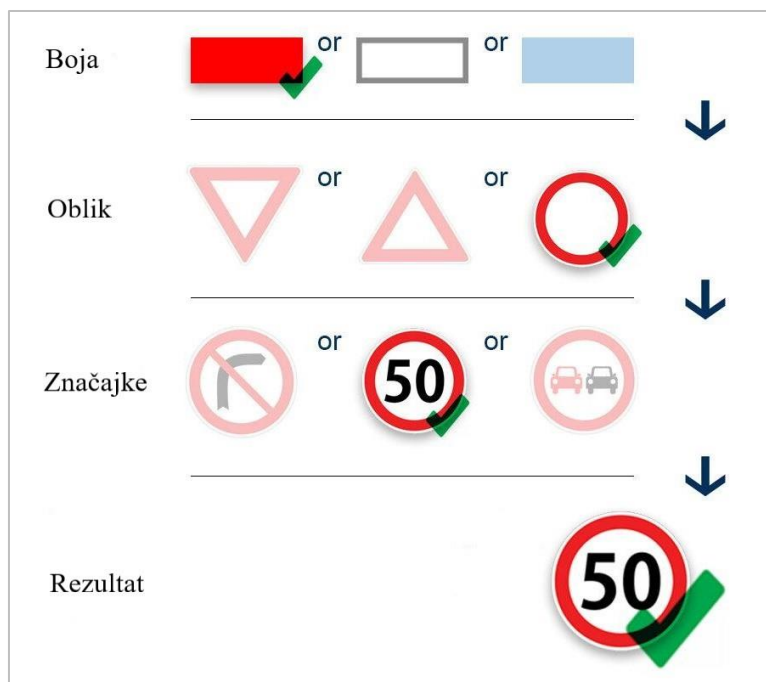
Razlika između načina percepcije između radara, lidara i kamere na automatiziranom vozilu prikazana je na slici 16.



Slika 16. Razlika između načina percepcije radara, lidara i kamere na automatiziranom vozilu

Izvor: [26]

Kada je riječ automatiziranoj vožnji i vertikalnoj signalizaciji, sustav prepoznavanja prometnih znakova (engl. Traffic-sign recognition – TSR) koristi prednju kamere na vozilu koja je povezana s računalom koje ujedno koristi algoritme računalnog vida i optičkog prepoznavanja znakova za otkrivanje oblika i sadržaja prometnog znaka. Sustavi koji detektiraju okolinu pomoću kamere neprestano nadziru cestu, tako da se promjena ograničenja brzine u kratkom vremenu prenosi na instrument ploču. Sustav prvo prepoznaje boju prometnog znaka, nakon toga oblik i naposljetku prepoznaje značajke odnosno sadržaj prometnog znaka što je vidljivo na slici 17 [27].



Slika 17. Način rada TSR-a

Izvor: [27]

Ako je vozilo opremljeno TSR sustavom i prilagodljivim tempomatom, oni će u velikom broju slučajeva raditi zajedno na način da prilagodljivi tempomat neće prekoračiti ograničenje brzine određeno TSR sustavom ili tako da vozač može postaviti ograničenje brzine pomoću prilagodljivog tempomata kao što je vidljivo na slici 18 [27].



Slika 18. Prikaz TSR-a s prilagodljivim tempomatom, [27]

Automobili poput novih Teslinih modela koji su opremljeni s autopilotom mogu prepoznati pješake i boju svjetla na semaforu te mogu kombinirati te informacije s adaptivnim tempomatom kako bi vozilo usporilo, zaustavilo se ili ubrzalo prema potrebi što je ujedno vidljivo na slici 19.



Slika 19. Prepoznavanje semafora i pješaka - Tesla Autopilot, [27]

Ako su na cesti nepovoljni vremenski uvjeti, oni će otežati rad kamere, odnosno ako je na cesti magla, mala je vjerojatnost da će kamera detektirati prometne znakove te shodno tome neće biti prikazani na instrument ploči [27].

Nadalje, automatizirana vozila obično rade na operativnom sustavu *Canny* koji predstavlja softver za otkrivanje rubova ceste. Radijus zavoja jedan je od ključnih koraka u centriranju vozila u prometnoj traci. Kako bi sustav ispravno radio, obvezni su ulazni podaci primjerice širina trake, a time se i omogućuje vozilu da ostane u središtu trake. Ako je sustav prepoznao vrijednost sa predznakom minus, to znači da će vozilo izvršiti automatsku korekciju udesno, a ako je sustav prepoznao vrijednost sa predznakom plus, to znači da će vozilo izvršiti automatsku korekciju ulijevo što je vidljivo na slici 20. Primjena ovih matematičkih sustava omogućuje vozilu razumijevanje okoline i točnije donošenje odluka.

Detekcija zakrivljenosti trake jedan je od temeljnih zahtjeva za sustave koji predstavljaju temelj autonomne vožnje, a osim toga otkrivanje polumjera zavoja i slanje poruke upozorenja za nadolazeće uvjete na zavojitoj cesti mogu uvelike poboljšati sigurnost vožnje.



Slika 20. Sustavi koji rade zajedno - sastavni dio automatiziranih automobila, [28]

Automatizirano vozilo treba pravilno očitati svaku oznaku na cesti kako bi na siguran način donijelo odluku kojom trakom treba ići i može li vozilo promijeniti traku, a te informacije dobiva raspoznavanjem oznaka na cesti.

Budući da bi vozilo trebalo biti sposobno izvoditi manevre kao što su promjena trake, izbjegavanje sudara, pretjecanje i skretanje, potrebne su dodatne informacije o svakoj prometnoj traci. Za automatizirano vozilo to znači da mora znati može li promijeniti traku, odnosno mora imati sve potrebne informacije o značenju svake trake. Uzdužna linija određuje je li dopuštena promjena trake u tom trenutku, a vrsta strelice otkriva značenje trake.

Pravilno praćenje odnosno pravilno prepoznavanje prometnih traka prikazano je na slici 21, dok na slici 22 krajnji lijevi trak unutar raskrižja nije detektiran u nekoliko situacija, a razlog tome je što sustav nije pravilno prepoznao taj trak, odnosno senzorski sustavi nisu pronašli potrebne oznake na kolniku.

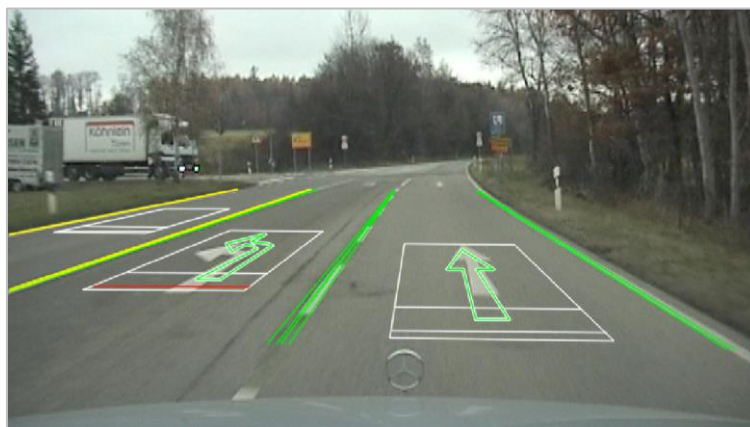


Slika 21. Pravilno praćenje prometnih traka unutar raskrižja, [29]



Slika 22. Nepravilno praćenje prometnih traka unutar raskrižja, [29]

Klasifikacija strelica daje uspješne rezultate što prikazuje slika 23.



Slika 23. Klasifikacija strelica, [29]

U provedenoj analizi ukupno se na slikama pojavljuju 22 strelice, od čega ih je 20 otkriveno i ispravno klasificirano. Jedna strelica nije otkrivena jer je u tom trenutku na mjestu

strelice prolazilo vozilo, dok druga nije otkrivena jer sustav nije pravilno prepoznao susjedni trak [29].

Važno je napomenuti da se sustav za održavanje vozila u prometnoj traci oslanja na oznake na cesti kako bi precizno odredio granice trake kojom se vozilo kreće, što implicira da se te oznake stoga moraju održavati u dobrom stanju kako bi sustav pravilno radio. Navedeni sustav se uključuje ako udaljenost vozila od linija prometne trake padne ispod definiranog minimuma, te u vozilima s električnim servo upravljačem, vozilo lagano ali primjetno vrši protuupravljanje kako bi zadržalo vozilo u prometnoj traci.

4.1. Tesla Autopilot

Autopilot je napredni sustav pomoći vozaču koji povećava sigurnost i udobnost za upravljačem te je njegov cilj smanjiti radno opterećenje vozača. Svako novo Teslino vozilo opremljeno je s osam vanjskih kamera dok sva vozila napravljena za sjevernoameričko tržište za ostvarivanje autopilota koriste Tesla Vision koji se temelji na kameri, umjesto na radaru. Trenutačno omogućene značajke *Autopilot*, *Enhanced Autopilot* i *Full Self-Driving* zahtijevaju aktivan nadzor vozača i ne čine vozilo potpuno automatiziranim. Potpuna autonomija ovisit će o postizanju pouzdanosti koja treba u velikoj mjeri nadmašiti čovjeka kao vozača [30].

Značajka *Full Self-Driving* može navesti na krivi zaključak, odnosno da automobil upravlja samostalno u potpunosti, ali ta značajka predstavlja skup od nekoliko naprednih sustava pomoći vozaču (ADAS) što znači da je potrebna pažnja vozača u vožnji.

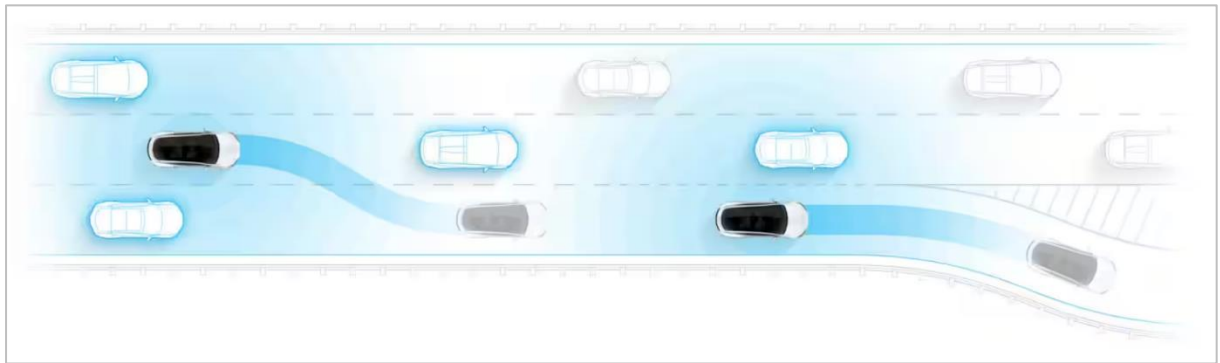
Računalo Hardware 3 koje se koristi u novim Teslinim vozilima obrađuje više od 40 puta više podataka u odnosu na sustav prethodne generacije te ono pokreće neuronsku mrežu koju je razvila Tesla, što je ujedno i temelj za ispitivanje i razvijanje Autopilota. Ovaj sustav pruža prikaz s vidljivosti u svim smjerovima istovremeno. Autopilot omogućava automatsko upravljanje, ubrzavanje i kočenje vozila unutar svoje trake. Navigacija na Autopilotu predlaže promjene voznog traka radi optimizacije rute i izvršava prilagodbe kako se vozilo ne bi kretalo iza sporih automobila i kamiona. Kad je uključena, navigacija na Autopilotu automatski usmjerava vozilo prema odvajanjima i izlazima na autocesti u skladu s odabranim odredištem. Svi novi modeli Tesle imaju hardver koji će im u budućnosti biti potreban za potpuno samostalnu vožnju u gotovo svim okolnostima. Sustav je dizajniran za samostalnu vožnju na kraće i veće udaljenosti bez potrebe za poduzimanjem radnji od strane osobe koja sjedi za upravljačem. Nakon odabira željene destinacije, automobil sam osmišljava optimalnu rutu krećući se gradskim ulicama, prolazeći kroz složena raskršća i vozeći po brzim cestama. Kad

vozilo stigne na odredište, nakon što putnici izađu iz automobila, vozilo se prebaci u način rada za traženje parkinga te samo potraži slobodno parkirno mjesto. S druge strane, sa samo jednim dodirrom putem telefona se automobil poziva nazad [31].

Autopilot uključuje sljedeće funkcije i značajke [30]:

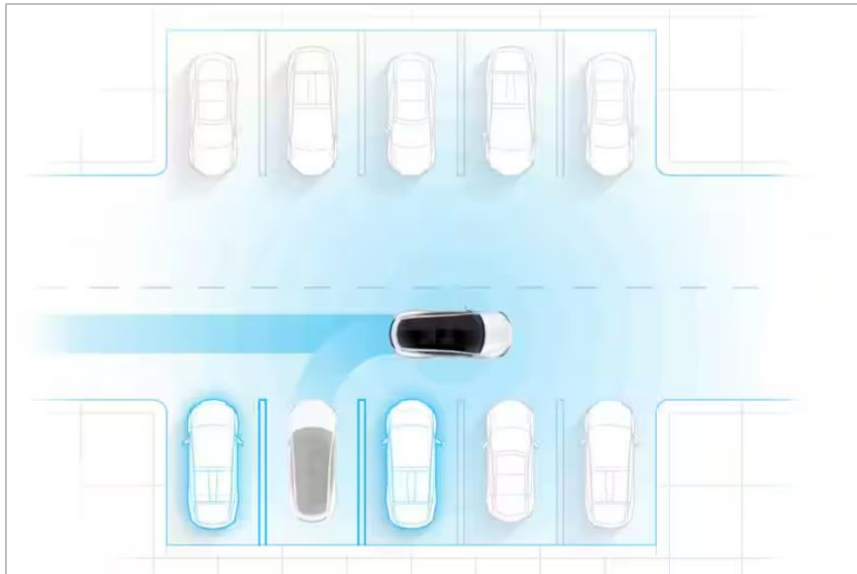
- Prilagodljivi tempomat: usklađuje brzinu automobila s okolnim prometom
- Automatsko upravljanje: pomaže u upravljanju unutar označene trake zajedno s adaptivnim tempomatom

Uz funkcionalnost i značajke autopilota, poboljšani autopilot također uključuje navigaciju koja aktivno vodi automobil od ulaza na autocestu do izlaza s autoceste, uključujući sugeriranje promjene trake, navigaciju na čvorištima, automatsko uključivanje pokazivača smjera i odabir ispravnog izlaza što je prikazano na slici 24 [30].



Slika 24. Izlazak s autoceste pomoću autopilota, [31]

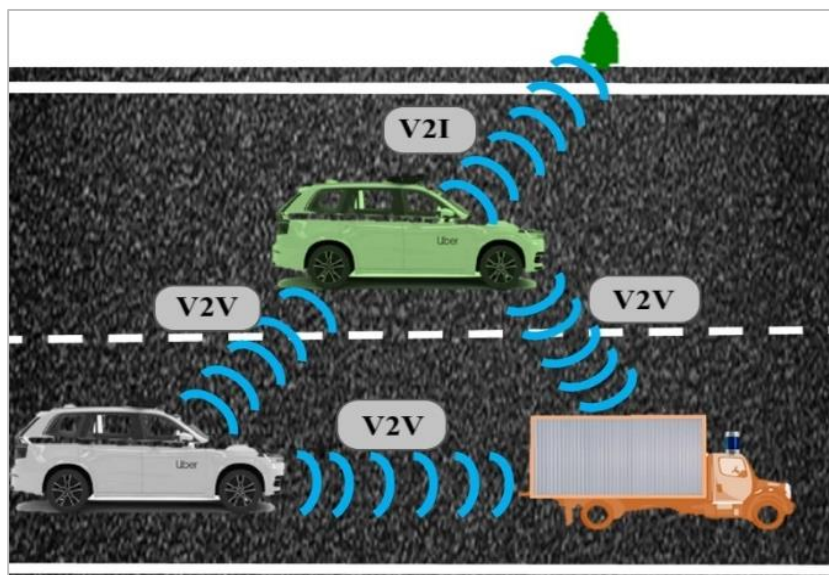
Poboljšani autopilot uključuje automatsku promjenu trake, odnosno pomaže u prelasku na susjednu traku na autocesti kada je uključeno automatsko upravljanje te automatsko parkiranje koje pomaže pri automatskom paralelnom ili okomitom parkiranju automobila što je prikazano na slici 25 [30].



Slika 25. Automatsko parkiranje, [31]

4.2. Kooperativni sustavi u prometu za povezana i automatizirana vozila

Povezana i automatizirana vozila mogu međusobno komunicirati u onome što se naziva V2V ili komunikacija između vozila (slika 26), s objektima uz cestu, signalima za kontrolu prometa i drugom infrastrukturom ili uređajima. Prema tome, CAV je dio inteligentnog transportnog sustava u kojem su sva vozila i infrastrukturni sustavi povezani.



Slika 26. Povezana vozila, [32]

Pomoću suvremenih informacijskih i komunikacijskih tehnologija (engl. Information and Communications Technology - ICT) nastoje se stvoriti integrirana rješenja u području

sigurnosti cestovnog prometa, energetski učinkovitijeg transporta i ekološko prihvatljivih rješenja.

S druge strane, inteligentni transportni sustavi (ITS) mogu se definirati kao informacijsko-komunikacijska i upravljačka nadogradnja klasičnog prometnog sustava. Uz pomoć ITS-a postiže se znatno poboljšanje odvijanja prometa, učinkovitiji je prijevoz putnika i roba, manja su onečišćenja okoliša te se postiže poboljšanje sigurnosti i udobnosti u prometu. Primjenom inovativnih informacijskih i komunikacijskih rješenja, prometno okružje dobiva veću transparentnost u informacijskom smislu. Osim fizičkih prostorno-vremenskih interakcija, u takvom su okruženju prisutne i stvarno vremenske informacijske interakcije između prometnih i transportnih entiteta te prometne infrastrukture. Inteligentna prometna infrastruktura predstavlja kibernetiku i informatičku nadogradnju klasične prometne infrastrukture te se u konačnici postiže bolje informiranje vozača, vođenje prometa, autonomna vožnja i sigurnosne aplikacije. Dijelovi ITS prometne infrastrukture su sljedeći [33]:

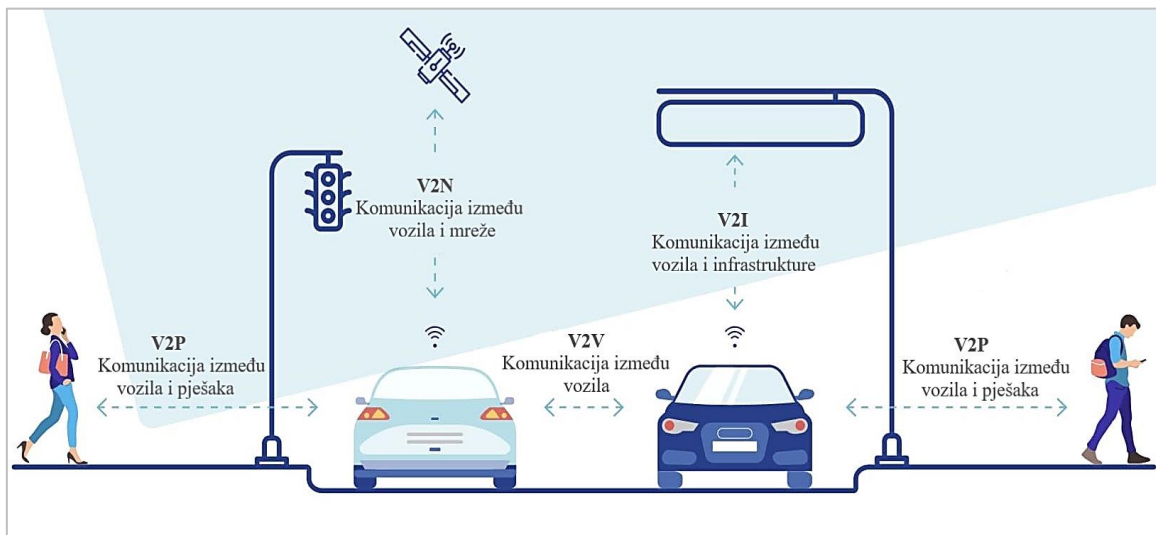
- Senzorsko–izvršni sustav (automatizirana vozila i inteligentna infrastruktura)
- Komunikacijski sustavi (Kooperativni ITS sustavi, V2X i dr.)
- Centralizirani upravljački sustavi

Centralizirano upravljanje, primjerice semafora, je upravljanje na daljinu, gdje se proces odabira faza, izračuna ciklusa i mijenjanja s jedne faze na drugu odvija iz centralne prostorije iz koje se utječe na sve uređaje, a preciznost i koordiniranost su glavne prednosti kod takvog upravljanja.

CAV-ovi podrazumijevaju postojanje odgovarajuće komunikacijske opreme koja pruža stvarno-vremensku povezanost s bližim i daljnjim okruženjem, a takav koncept povezivosti vozila je poznat pod terminom kooperativni sustavi u prometu i transportu. U takvom konceptu vozilo bežično komunicira s drugim vozilima, infrastrukturom (prometnicom i pratećom opremom) te drugim korisnicima. Tehnologija kooperativnih sustava omogućuje dvosmjernu komunikaciju vozila s infrastrukturom (V2I), vozila s vozilom (V2V), vozila s ostalim korisnicima (V2U), infrastrukture s ostalim korisnicima (I2U) i dr [4].

Komunikacija između *backend* servera i CAV-ova preduvjet je da CAV bude pouzdan i u situacijama koje su izvan njegove percepcije. Unatoč tome, globalne informacije od tih servera ponekad nisu dovoljne pa su onda CAV-u potrebne dodatne lokalne informacije. *Backend* komunikacija se obično odvija između vozila istog proizvođača, pa se iz toga razloga razvila Vehicle-to-Everything (V2X) komunikacija. V2X odnosi se na komunikaciju između

vozila i ostalih sudionika u prometu, mobitela ili stanica s ciljem poboljšanja sigurnosti prometa, odnosno dajući vozilima i ostalim sudionicima u prometu potrebne informacije kako bi se izbjegle prometne nesreće. Ova komunikacija iznimno je korisna u lošim vremenskim uvjetima kada je sposobnost percepcije privremeno ograničena. Glavni cilj V2X komunikacije je smanjenje repova čekanja na prometnicama, pa vozila mogu biti obaviještena putem V2X komunikacije da krenu alternativnim rutama [8]. V2X komunikacija prikazana je na slici 27.



Slika 27. V2X komunikacija

Izvor: [34]

4.2.1. Komunikacija između vozila i infrastrukture

Komunikacija između vozila i infrastrukture (engl. Vehicle-to-Infrastructure - V2I) uključuje komunikaciju između vozila i objekata pored ceste (engl. Road Side Units - RSU). Primjeri takve komunikacije su sljedeći [8]:

- Upozorenje o radovima na cesti (engl. Road work warning)
- Upozorenje o opasnosti na cesti i nesreći (engl. Road hazard and accident warning)
- Upozorenje o fazi semafora (engl. Traffic light phase event)

Upozorenje o radovima na cesti služi kako bi se vozilo pravovremeno stiglo pripremiti na novonastale uvjete ili izračunati alternativnu rutu kako bi se izbjegli radovi na cesti. Upozorenje o opasnosti na cesti i nesreći daje informacije o površinama ili objektima na cesti koji mogu ugroziti sigurnost vožnje, a to mogu biti krhotine, životinje, led i drugo, dok upozorenje o fazama semafora pomaže poboljšati sigurnost i efikasnost vožnje tako što vozilo

saznaje informacije o trenutnoj fazi semafora svake prometne trake kao i preostalo vrijeme trenutne faze [8].

4.2.2. *Komunikacija između vozila*

Komunikacija između vozila (engl. Vehicle-to-Vehicle - V2V) odnosi se na razmjenu informacija između vozila u neposrednoj blizini. Primjer takve komunikacije je upozorenje pri kretanju na raskrižju (engl. Intersection movement assist warning) koje za cilj ima spriječiti potencijalnu prometnu nesreću zbog otežanog pregleda raskrižja. Ovo upozorenje daje informacije o svim sudionicima na raskrižju i tako povećava sposobnost percepcije vozila [8].

4.2.3. *Komunikacija između vozila i pješaka*

Komunikacija između vozila i pješaka (engl. Vehicle-to-Pedestrian - V2P) komunikacija je između vozila i mobilnih uređaja kod pješaka ili biciklista. Upozorenje o ranjivom sudioniku u prometu šalje informacije vozilu da pješak ili biciklist namjerava prijeći cestu ili da se nalazi na cesti. Isto tako, upozorenje može pružiti informacije o biciklistima koji se kreću po noći, kada su manje uočljiviji. Primjer gdje ovakvo upozorenje može biti od velike koristi je kada vozilo dolazi do pješačkog prijelaza, a zbog vozila koje se u tom trenutku nalazi zaustavljeno u susjednoj traci, ne može sensorima detektirati pješaka ili biciklista koji također u tom trenutku prelazi cestu [8].

4.3. Pametna autocesta za automatizirana vozila

Analizirana je studija slučaja jedne od prvih planiranih pametnih cesta u Italiji, talijanske autoceste A19, te je glavni fokus na novom geometrijskom dizajnu pametne ceste temeljene na performansama AV-ova i CAV-ova. U osnovi, pametne ceste sadrže tehnologije kooperativnog inteligentnog transportnog sustava (Prilog 1) kako bi se omogućila komunikacija i suradnja kako između svih vozila tako i između CAV-ova i infrastrukture.

Putem platforme *C-Roads*, mnogi operateri cesta udružili su se kako bi uskladili implementiranje C-ITS-a u europskim zemljama. Glavni cilj je implementacija interoperabilnih prekograničnih C-ITS usluga. Uz osnovne C-ITS tehnologije, jedan ili više sljedećih sustava može se implementirati u pametno cestovno okruženje [35]:

- Trake namijenjene AV-ovima i CAV-ovima koji putuju samostalno ili u konvoju
- Internet stvari (engl. Internet of Things - IOT): senzori za praćenje prometnog toka, građevina (mostova, vijadukta, cestovnih barijera i dr.), vremena i zagađenja zraka
- Promjenjivo ograničenje brzine (engl. Variable Speed limits - VSL)

- Zeleni otoci (engl. Green Islands - GI): mjesto opremljeno punionicama za električna vozila sa energijom iz obnovljivih izvora
- Prioritetne trake, odnosno trake isključivo za električna vozila opremljene tehnologijom bežičnog punjenja
- Piezoelektrični uređaji za proizvodnju električne energije: piezoelektrični kristali postavljaju se oko 5 cm ispod površine asfaltnog kolnika te se blago deformiraju kada vozila voze takvom cestom i na taj način proizvode električnu struju
- Bežični digitalni sustav prometnih znakova
- Pametna raskrižja koja omogućuju smanjenje smrtonosnih sudara i povećanje sigurnosti na raskrižjima korištenjem inteligentnih kamera, prepoznavanja objekata i V2X komunikacije koja može povezano vozilo upozoriti na pješački prijelaz
- Pametna ulična svjetla s dodanim sensorima koja se koriste u za praćenje kvalitete zraka i prometnih zagušenja
- Cestovne sigurnosne barijere opremljene sustavom za praćenje nesreća (engl. Accidents monitoring system - AMS) koji može otkriti udare o barijere u stvarnom vremenu (npr. NDBA sigurnosna barijera)
- Razmjena nekoliko vrsta informacija (položaja, brzine i ubrzanja) između vozila putem V2V, V2I i V2X sustava omogućit će CAV-ovima da predvide potencijalni rizik od prometne nesreće u prometnom toku
- Strojno učenje (engl. Machine Learning – ML), duboko učenje (engl. Deep Learning – DL), neuronske mreže i umjetna inteligencija zajedničkim snagama povećavaju uspješnost novih tehnologija u prometu.

Glavni cilj projekta pametne ceste je razviti digitaliziranu infrastrukturu. U prvoj fazi korisnicima će se osigurati informacije o stanju na cestama putem inovativnih sustava poput “*wi-fi u pokretu*” i elektroničkog sustava DSRC (engl. Dedicated Short Range Communications). Talijanska autocesta A19 pripada Transeuropskoj prometnoj mreži (TEN-T), točnije koridoru Helsinki – La Valletta te je uključena u talijanski projekt “projekt pametne ceste”. Autocesta A19 duga je 197 km, sastoji se od dvije prometne trake (širine 3,75 m) u oba smjera i od zaustavnog traka s obje strane (širine 2,50 m). Središnji razdjelni pojas ukupne je širine 4,00 m [35].

Iako je autocesta A19 izgrađena prije nekoliko desetljeća, analize njezine geometrijske trase pokazuje da je infrastruktura u skladu s predloženim geometrijskim projektom autoceste osim samo nekih geometrijskih elemenata (pravci). Osim toga, rezultati istraživanja pokazali su da

će AV-ovi i CAV-ovi zahtijevati kraće zaustavne udaljenosti od onih koje zahtijevaju konvencionalna vozila, stoga bi se mnoga postojeća ograničenja brzine u određenim segmentima autoceste mogla promijeniti kada se postigne promet sa CAV-ima koji bi donijeli niz prednosti u pogledu smanjenja vremena putovanja i poboljšanja razine usluge (engl. Level of Service – LOS) [35].

Na pametnoj cesti bi se omogućila vožnja u konvoju, odnosno povezivanje dvaju vozila ili više njih primjenom tehnologije povezivanja i sustava za potporu automatiziranoj vožnji koji omogućuju da vozila održavaju stalnu, kratku međusobnu udaljenost tijekom određenih dijelova putovanja i da se prilagođavaju promjenama kretanja vodećeg vozila.

5. Projektiranje buduće infrastrukture cestovnog prometa prilagođene autonomnoj vožnji

5.1. Smjernice za projektiranje prometnica

Sveučilište u Torontu i Sveučilište u Kairu zajedno su napravili istraživanje o utjecaju AV-ova na postojeću infrastrukturu. Rezultati studije pokazuju da bi AV-ovi mogli povećati sigurnost u prometu. Međutim, AV-ovi bi mogli uvesti nove rizike i izazove za postojeću infrastrukturu te su naglasili da način na koji će autonomna vožnja biti implementirana u budućnosti uglavnom ovisi o razini ulaganja u infrastrukturu.

5.1.1. Zaustavni put vozila

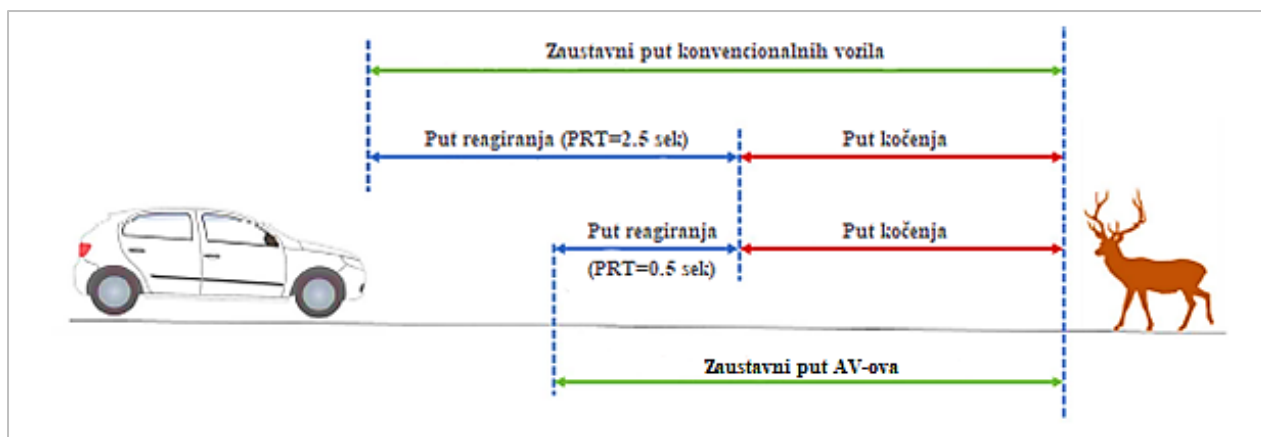
Zaustavni put sastoji se od puta reagiranja i puta kočenja. Percepcija i reakcija uglavnom ovise o vozačevoj pažnji, dok put kočenja ovisi o karakteristikama vozila. U ovoj studiji pretpostavljeno je da su tehničke karakteristike kod automatiziranih vozila i konvencionalnih vozila jednake, kao što su jednaki i ostali uvjeti (vremenski uvjeti, nagib i stanje kolnika). Kao rezultat toga, put kočenja je isti za oba slučaja. Sljedeća matematička formula korištena je u analiziranom istraživanju za izračunavanje zaustavnog puta [36]:

$$SSD = 0.278 * V * t + \frac{V^2}{254 \left[\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right]}$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- SSD - zaustavni put vozila (m)
- V - projektna brzina (km/h)
- t - vrijeme reakcije (s)
- a - iznos deceleracije (m/s²) (uzima se iznos od 3.4 m/s²)
- G - nagib kolnika

Rezultati istraživanja studija koje su ispitivale vrijeme reakcije kod AV-ova pokazuju da AV-ovi mogu reagirati do 0,2 sek nakon detekcije prepreke, nakon čega vozilo počinje kočiti. U ovom istraživanju koristilo se vrijeme reakcije od u iznosu od 0,5 sek. Razlika između zaustavnog puta AV-ova i vozila kojima upravlja čovjek prikazana je na slici 28 na kojoj je vidljivo koliko je kraći zaustavni put AV-ova u odnosu na konvencionalna vozila [36].



Slika 28. Razlika između zaustavnog puta AV-ova i konvencionalnih vozila

Izvor: [36]

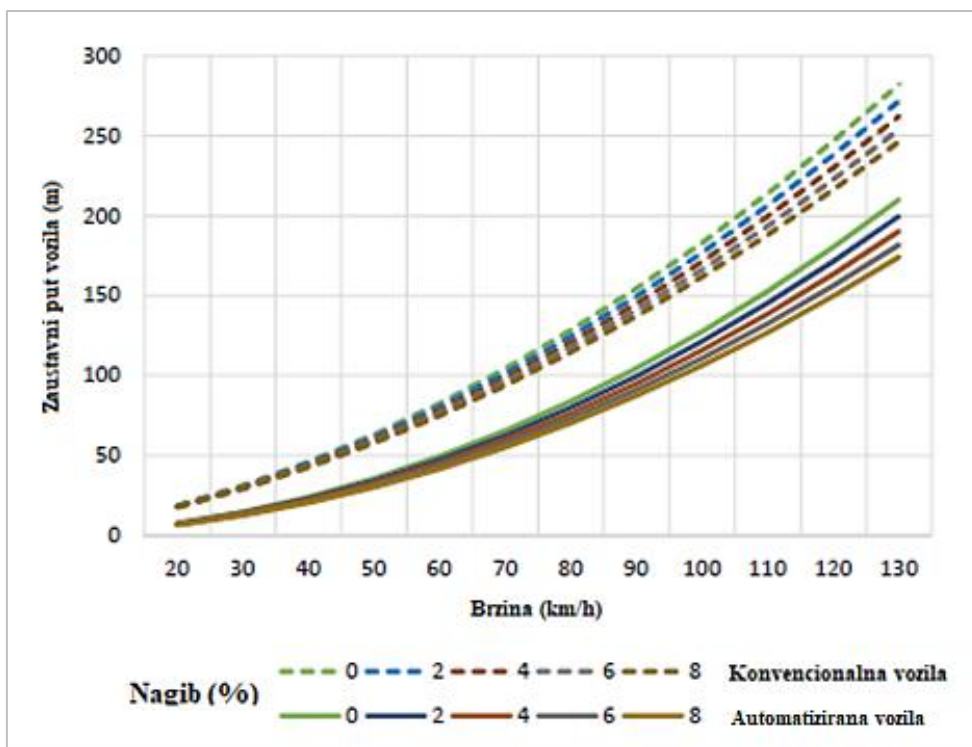
U tablici 7 prikazani su rezultati iz navedene jednadžbe zaustavnog puta AV-ova i konvencionalnih vozila te se iz nje može iščitati kako se sa povećanjem projektne brzine, povećava i razlika duljine zaustavnog puta između uspoređenih vozila.

Tablica 7. Razlika između zaustavnog puta kod AV-ova i konvencionalnih vozila

| Projektna brzina (km/h) | Konvencionalna vozila | | | | Automatizirana vozila | | | | Zaustavni put vozila -razlika (m) |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|------------|--|
| | Put reagiranja (m) | Put kočenja (m) | Zaustavni put vozila (m) | | Put reagiranja (m) | Put kočenja (m) | Zaustavni put vozila (m) | | |
| | | | Iračun | Vrijednost | | | Iračun | Vrijednost | |
| 20 | 13.9 | 4.6 | 18.5 | 20 | 2.78 | 4.6 | 7.38 | 5 | 15 |
| 30 | 20.9 | 10.3 | 31.2 | 30 | 4.17 | 10.3 | 14.5 | 15 | 15 |
| 40 | 27.8 | 18.2 | 46 | 45 | 5.56 | 18.2 | 23.8 | 25 | 20 |
| 50 | 34.8 | 28.5 | 63.3 | 65 | 6.95 | 28.5 | 35.5 | 35 | 30 |
| 60 | 41.7 | 41 | 82.7 | 85 | 8.34 | 41 | 49.3 | 50 | 35 |
| 70 | 48.7 | 55.9 | 105 | 105 | 9.73 | 55.9 | 65.6 | 65 | 40 |
| 80 | 55.6 | 73 | 129 | 130 | 11.1 | 73 | 84.1 | 85 | 45 |
| 90 | 62.6 | 92.3 | 155 | 155 | 12.5 | 92.3 | 105 | 105 | 50 |
| 100 | 69.5 | 114 | 184 | 185 | 13.9 | 114 | 128 | 130 | 55 |
| 110 | 76.5 | 138 | 214 | 215 | 15.3 | 138 | 153 | 155 | 60 |
| 120 | 83.4 | 164 | 248 | 250 | 16.7 | 164 | 181 | 180 | 70 |
| 130 | 90.4 | 193 | 283 | 285 | 18.1 | 193 | 211 | 210 | 75 |

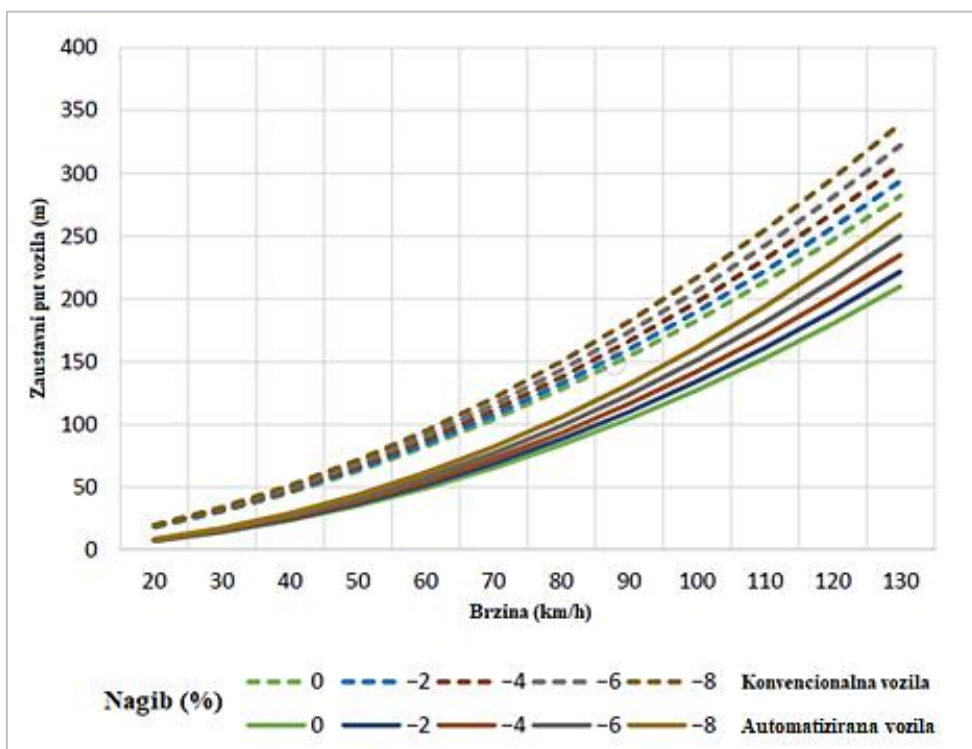
Izvor: [36]

Sljedeći grafikoni prikazuju ovisnost brzine i zaustavnog puta u odnosu na uzdužni nagib kolnika između AV-ova i konvencionalnih vozila.



Grafikon 1. Ovisnost brzine i zaustavnog puta u odnosu na vožnju uzbrdicom

Izvor: [36]



Grafikon 2. Ovisnost brzine i zaustavnog puta u odnosu na vožnju nizbrdicom

Izvor: [36]

Kada je riječ o nagibu, predznaci plus i minus su određeni time kreće li se vozilo u usponu što je prikazano na grafikonu 1 ili niz padinu što je prikazano na grafikonu 2. Na grafikonima je vidljivo u kojoj mjeri je kraći zaustavni put AV-ova u odnosu na konvencionalna vozila zbog kraćeg vremena reakcije.

5.1.2. Širina preglednosti u horizontalnom zavoju

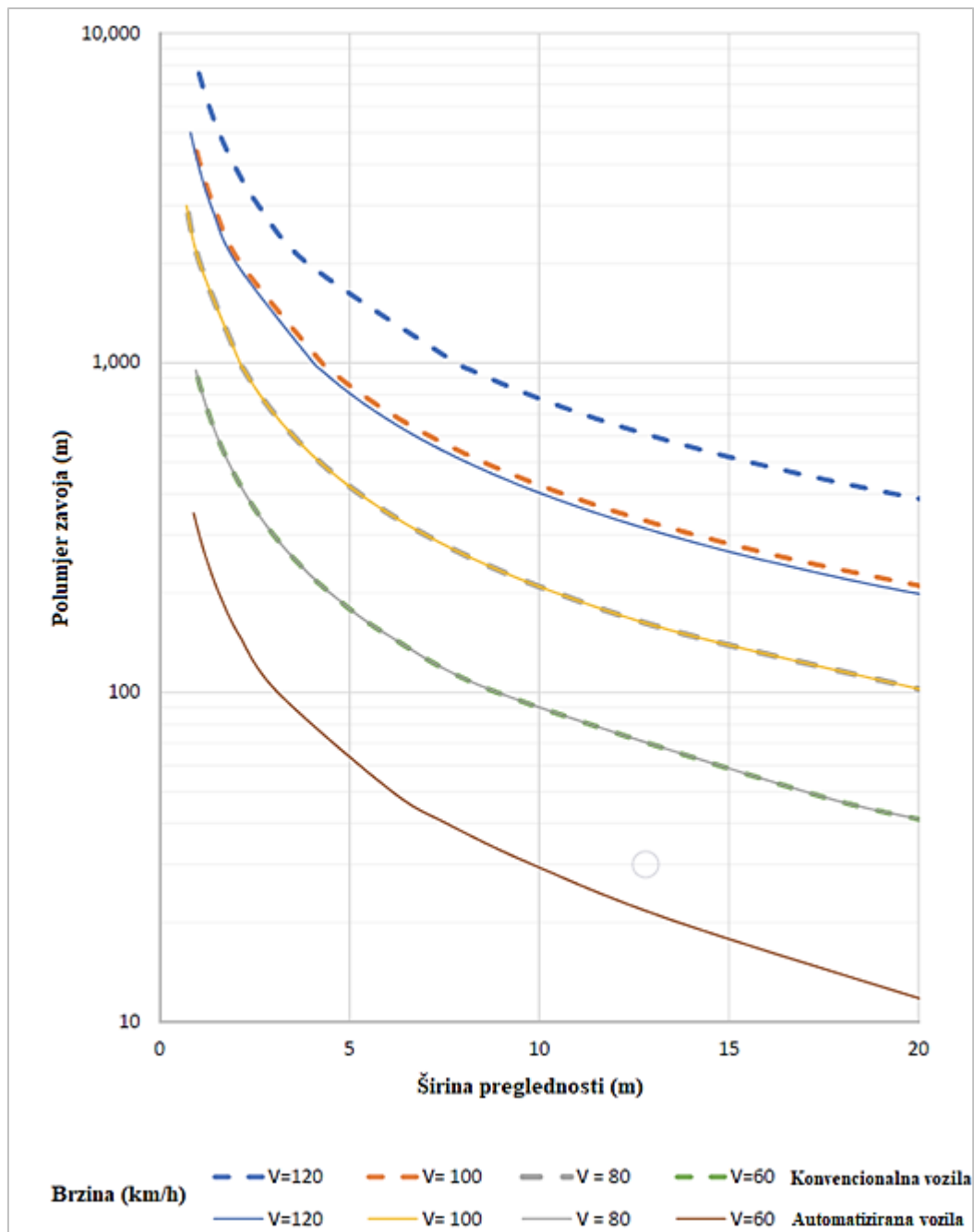
Horizontalna preglednost u zavoju mora osigurati preglednost za sigurno zaustavljanje vozila pred nepomičnom zaprekom. U ovom istraživanju je uzet u obzir kružni, horizontalni zavoj čija je dužina veća od zaustavnog puta kako bi se prikazao utjecaj AV-ova na potrebnu zaustavnu preglednost. Formula koja se koristila za izračun širine preglednosti u horizontalnom zavoju je sljedeća [36]:

$$HSO = R \left[1 - \cos \left(\frac{90S}{\pi R} \right) \right]$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- HSO - širina preglednosti (m)
- R - polumjer zavoja (m)
- S - zaustavna preglednost (m).

Važno je napomenuti da se polumjer zavoja u prethodnoj jednadžbi izračunava pomoću nagiba kolnika i brzine. Budući da se pretpostavlja da su AV-ovi slični konvencionalnim vozilima, osim po ponašanju u vožnji, može se zaključiti da će zahtijevani minimalni polumjer zavoja biti isti za automatizirana i konvencionalna vozila. S druge strane, zaustavni put za AV-ove je puno kraći nego kod konvencionalnih vozila, te je zahtijevana potrebna širina preglednosti puno manja za AV-ove [36].

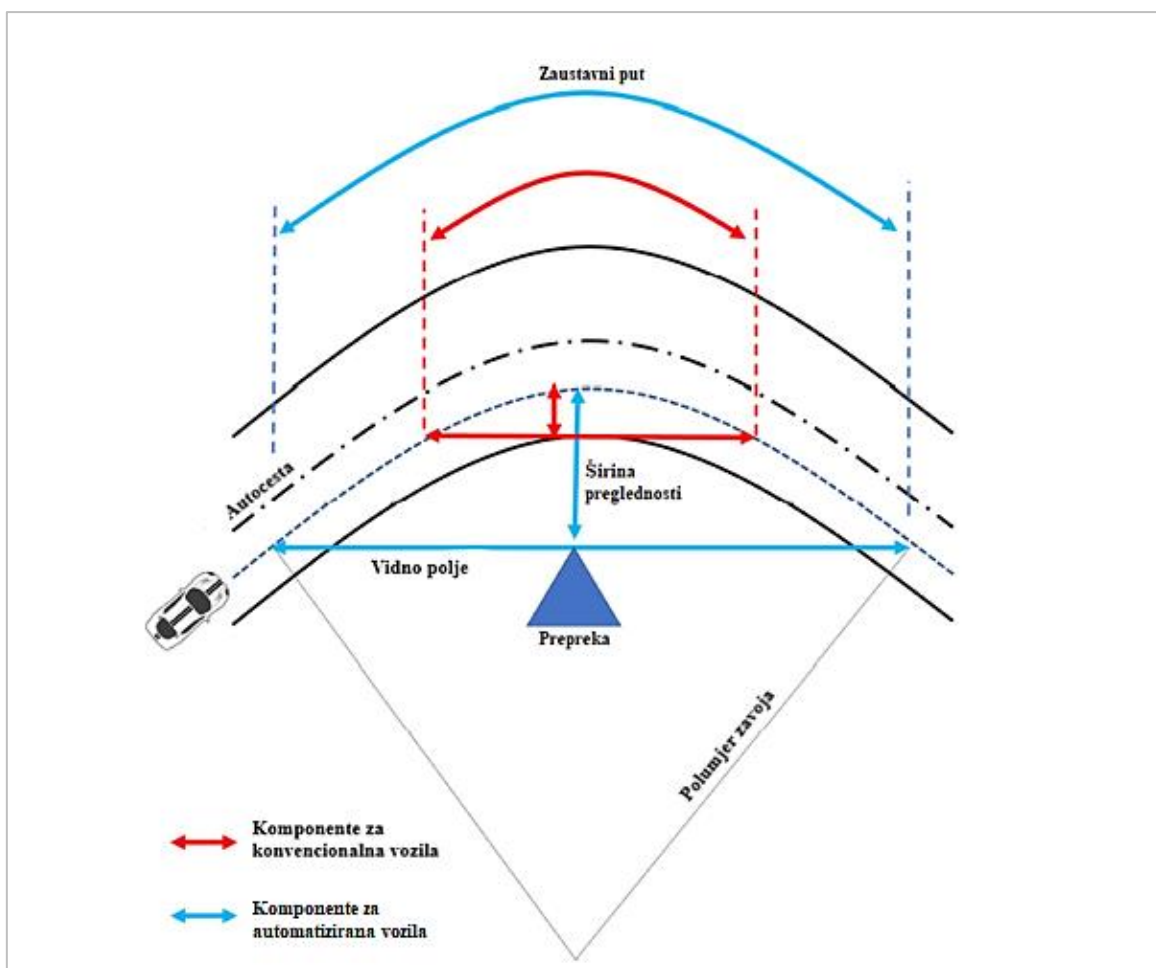


Grafikon 3. Ovisnost širine preglednosti i polumjera horizontalnog zavoja u odnosu na brzinu s kojom se omogućuje zaustavna preglednost

Izvor: [36]

Na grafikonu 3 prikazan je odnos između širine preglednosti i polumjera horizontalnog zavoja s kojima se omogućuje pravovremeno uočavanje opasnosti do potpunog zaustavljanja kod AV-ova i konvencionalnih vozila za različite brzine vožnje.

Slika 29 prikazuje razliku između komponenti koje se koriste za određivanje tražene dužine preglednosti kod AV-ova i kod konvencionalnih vozila.



Slika 29. Širine preglednosti i zaustavne preglednosti za autonomna i konvencionalna vozila

Izvor: [36]

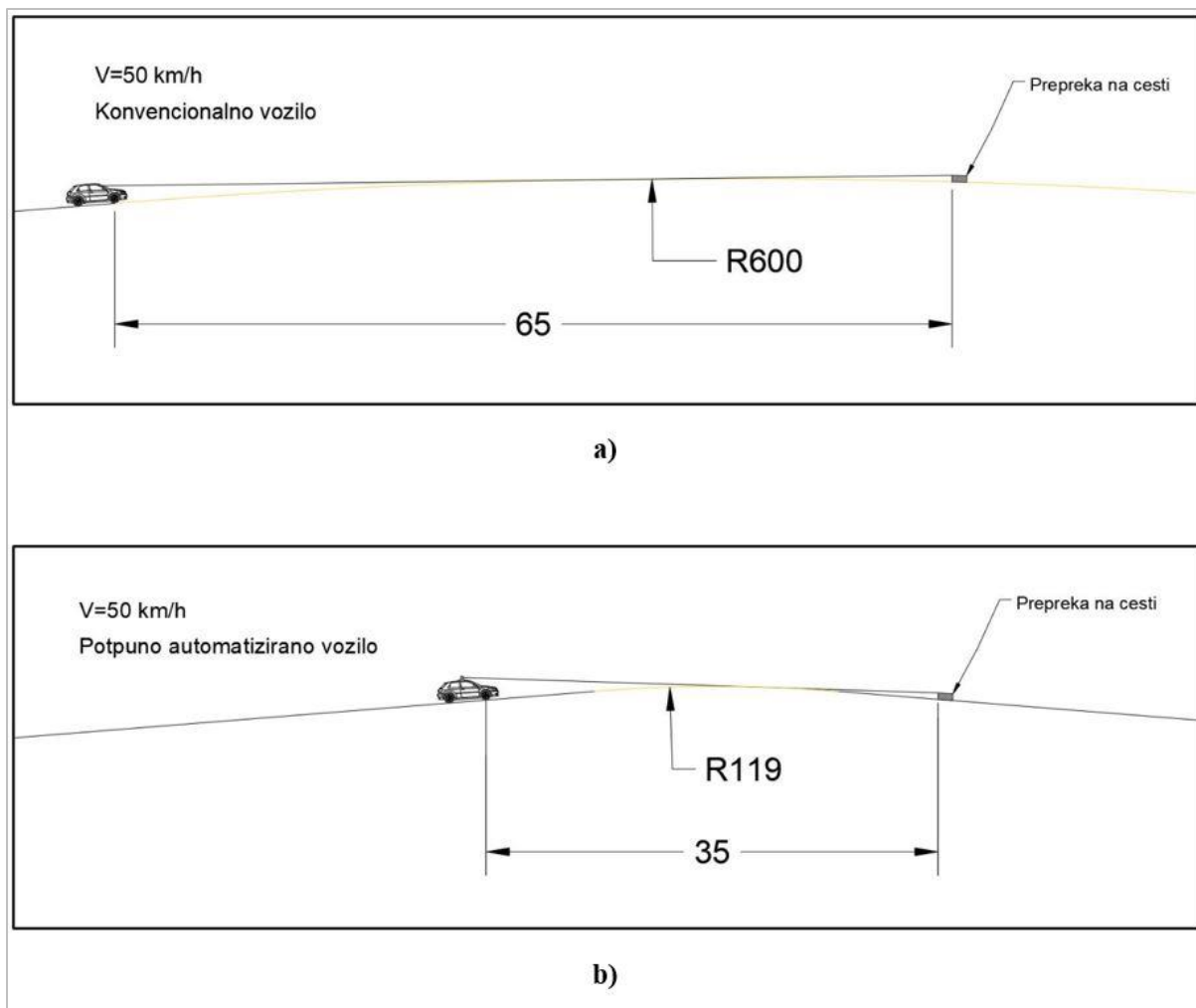
5.1.3. Konveksni prijelom nivelete

Glavne razlike između AV-ova i konvencionalnih vozila prema ovome istraživanju očituje se u zaustavnom putu i visini oka vozača h_1 . Visina oka u slučaju AV-a ovisi o visini na kojoj je postavljen lidar umjesto trenutne visine oka vozača. Položaj lidara na vozilu utječe na vidno polje odnosno na duljinu preglednosti, što znači da će se s povećanjem visine senzora povećati i duljina preglednosti kod potpuno automatiziranih vozila. Stoga je položaj lidara ključan čimbenik pri izračunima polumjera vertikalnih zavoja. Kao rezultat toga, u ovoj studiji visina lidara zamijenila je visinu oka vozača.

Lidar koji je smješten na krovu potpuno autonomnog vozila povećava vrijednost visine oka vozača h_1 . Tvrtka Google je na Toyota Prius ($h_1 = 1,47$ m) i Lexus RX450h ($h_1 = 1,685$ m) postavila lidar prije istraživanja koje su provodili, te su nakon postavljanja lidara automobili imali nove vrijednost h_1 . Toyota Prius imala je novu vrijednost h_1 od 2,054 m, a Lexus RX450h

imao je novu vrijednost h_1 od 2,269 m, od čega je dodatnih 0,3 m pridodao nosač, a dodatnih 0,284 m je pridodala visina lidara. Unatoč tome, Waymo (američka tvrtka koja se bavi razvojem autonomne vožnje) proizvodi AV-ove koji imaju vrijednost h_1 od 1,56 m (bez lidara) te ona ne sadrže nosač za lidar pa se kod njih u obzir uzima samo visina lidara od 0,284 m čime se dolazi do konačne vrijednosti h_1 u iznosu o 1,84 m[36].

Iz toga proizlazi da je vrijednost h_1 od velike važnosti jer direktno utječe na izračun polumjera vertikalnih zavoja. Slika 30 predstavlja konceptualni prikaz, odnosno usporedbu minimalnog polumjera konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete za konvencionalna vozila i za AV-ove, za projektnu brzinu od 50 km/h. Visina oka vozača h_1 različita je u ova dva slučaja jer se kod vozila na slici 30 b) u obzir uzima visina lidara umjesto visine oka vozača kao na slici 30 a), dok su vrijednosti skrivenog dijela zapreke h_2 iste u oba slučaja. Na slici 30 a) vrijednost h_1 iznosi 1,4 m, a vrijednost h_2 iznosi 0,5 m, dok na slici 30 b) vrijednost h_1 iznosi 1,88 m te vrijednost h_2 iznosi također 0,5 m. Iz navedene usporedbe se vidi da minimalni polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete za konvencionalna vozila iznosi 600 m, dok u drugom slučaju minimalni polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete za AV-ove iznosi 119 m. Osim toga zaustavna preglednost u prvom slučaju iznosi 65 m dok u drugom slučaju iznosi 35 m.



Slika 30. Minimalni polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete za konvencionalna vozila (a) i za AV-ove (b) – konceptualni prikaz

5.2. Smjernice za geometrijski izgled ceste

Očekuje se da će potpuno automatizirani transportni sustav smanjiti potrebu za naglim kočenjem te bi površine za takvu vožnju mogle zahtijevati manji koeficijent trenja.

Kada čovjek upravlja automobilom, automobil takoreći "luta" površinom ceste jer se kreće blago udesno i ulijevo unutar svoje trake. No AV-ovi, vođeni GPS-om i drugim navigacijskim pomagalicama slijede i održavaju puno precizniju putanju, što znači da će svaki AV voziti preko istih dijelova cestovnih površina. Takva preciznost može dovesti do bržeg trošenja površine ceste i potencijalnih oštećenja, posebice na makadamskim i asfaltnim kolnicima. To se pokazalo u pilot projektu iz 2018. godine koje je provelo Ministarstvo prometa Minnesote koristeći potpuno automatizirani autobus koji je ostavio vidljive usjeke kotača na cestama po kojima je vozio, uzrokovane ponavljajućom putanjom kotača dok je slijedio

programiranu rutu. Zaključak koji je donesen nakon ove studije je takav da će AV-ovi zahtijevati drugačiju konstrukciju ceste, odnosno cestu koja sadrži “tračnice“ od armiranobetonskih greda po kojima će AV-ovi voziti [37].

Buduće ceste za AV-ove mogle bi zamijeniti nepropusni asfalt (slika 31 a) propusnim betonskim opločnicima ili niskom vegetacijom koja pokriva tlo, primjerice sedum, te bi prometnica kao takva mogla postati ekološki prihvatljiva (slika 31 b).



Slika 31. Poprečni profil klasične ceste (a) i ceste za AV-ove (b)

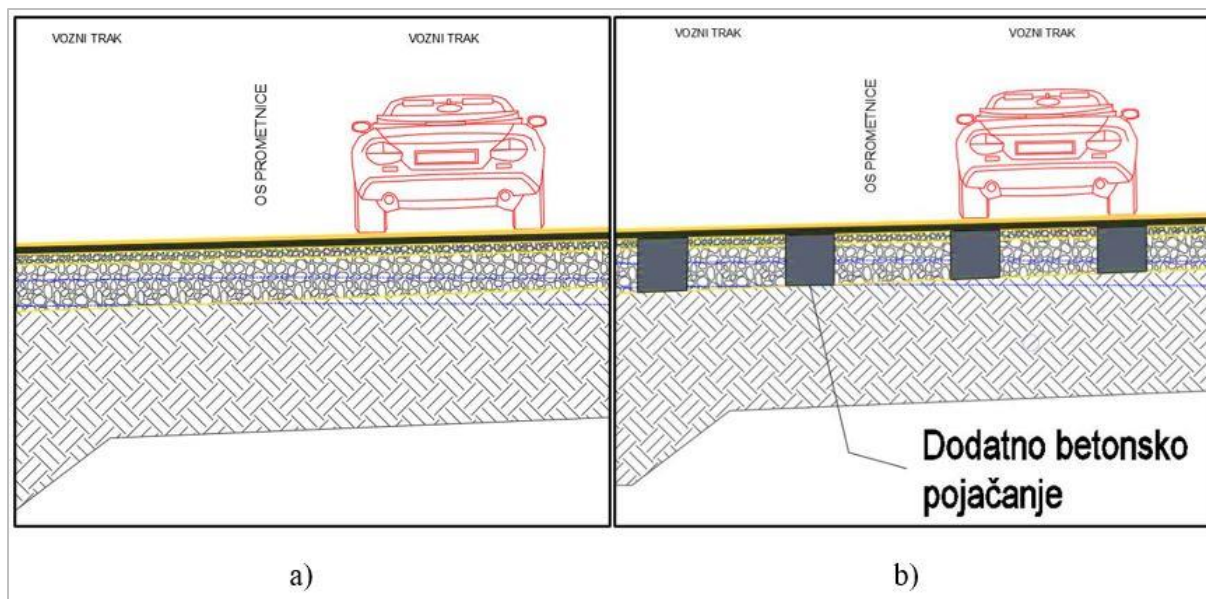
Izvor: [37]

Za cestovnu površinu od 36.000 kvadratnih stopa ($36000 \text{ ft}^2 \approx 3345 \text{ m}^2$), koja je danas potpuno nepropusna, novi dizajn ceste za AV-ove mogao bi sadržavati čak 27.000 kvadratnih

stopa ($27000 \text{ ft}^2 \approx 2508 \text{ m}^2$) propusnih površina sa 9.000 kvadratnih stopa ($9000 \text{ ft}^2 \approx 836 \text{ m}^2$) armiranobetonskih greda [37].

Dodatne koristi proizašle bi iz činjenice da se od AV-ova očekuje da generiraju mnogo veću propusnost, što znači da bi suvremene četvertračne ceste u budućnosti mogle postati dvotračne te bi prometne trake mogle biti uže. Nakon takve rekonstrukcije, preostali prostor mogao bi se preraspodijeliti na više zelenih površina, ali onda se ipak postavlja pitanje kako bi to moglo utjecati na opseg manevara. Osim toga, treba napomenuti da bi takve rekonstrukcije učinila takve ceste neprikladnima za promet konvencionalnim vozilima jer vozači ne bi mogli na siguran način upravljati vozilom na prometnici takvih dimenzija, što bi u konačnici rezultiralo većim rizikom od prometne nesreće. Osim toga, u budućnosti bi se mogle projektirati ceste sa širim rubnjacima i nogostupima te sa više biciklističkog prostora. Provedba ovoga bila bi relativno jednostavna na novim cestama, primjerice u novim stambenim naseljima, ali problematičnija ako bi uključivala promjene na postojećim cestama.

Prema podacima iz navedene studije, napravljen je poprečni presjek ceste za potpuno automatizirana vozila (po kojoj bi mogla voziti i konvencionalna vozila) koji bi u donjem nosivom sloju, u donjem dijelu kolničke konstrukcije, sadržavao dodatno betonsko pojačanje kao što je prikazano na slici 32 b). Cesta za potpuno automatizirana vozila sadržavala bi dodatno betonsko pojačanje iz tog razloga da se spriječe usjeci kotača na cestovnoj površini koje bi potencijalno potpuno automatizirana vozila mogla napraviti zbog ponavljajuće putanje dok slijede unaprijed programiranu rutu putovanja. Na slici 32 je prikazana razlika između normalnog poprečnog profila klasične ceste (Prilog 2) i ceste za potpuno automatizirana vozila (Prilog 3).



Slika 32. Razlika između normalnog poprečnog profila klasične ceste (a) i ceste za potpuno automatizirana vozila (b)

5.3. Smjernice za izgradnju koridora i namjenskih traka

U Michiganu će se napraviti koridor od 64 km između Detroita i Ann Arbora u kojem će se automatizirana vozila moći kretati većim brzinama, na manjim udaljenostima između vozila i bez zaustavljanja. Michigan je grad koji je usvojio zakonodavstvo o automatiziranim vozilima te je prošle godine Senat SAD-a predstavio nacrt zakona za označavanje određenih dijelova državnih cesta prilagođenih automatiziranim vozilima.

Autocesta koja će uključivati infrastrukturu prilagođenu CAV-ima, sastoji se od fizičke infrastrukture, digitalne infrastrukture i koordinacijske infrastrukture (slika 33). Fizička infrastruktura uključuje sljedeće [38] :

- Uređene prometnice
- Razdjelni pojas između ceste za konvencionalna vozila i ceste za CAV-ove
- Strojno čitljive oznake
- Digitalna signalizacija
- Poboljšano održavanje kako bi se povećao životni vijek kolnika.

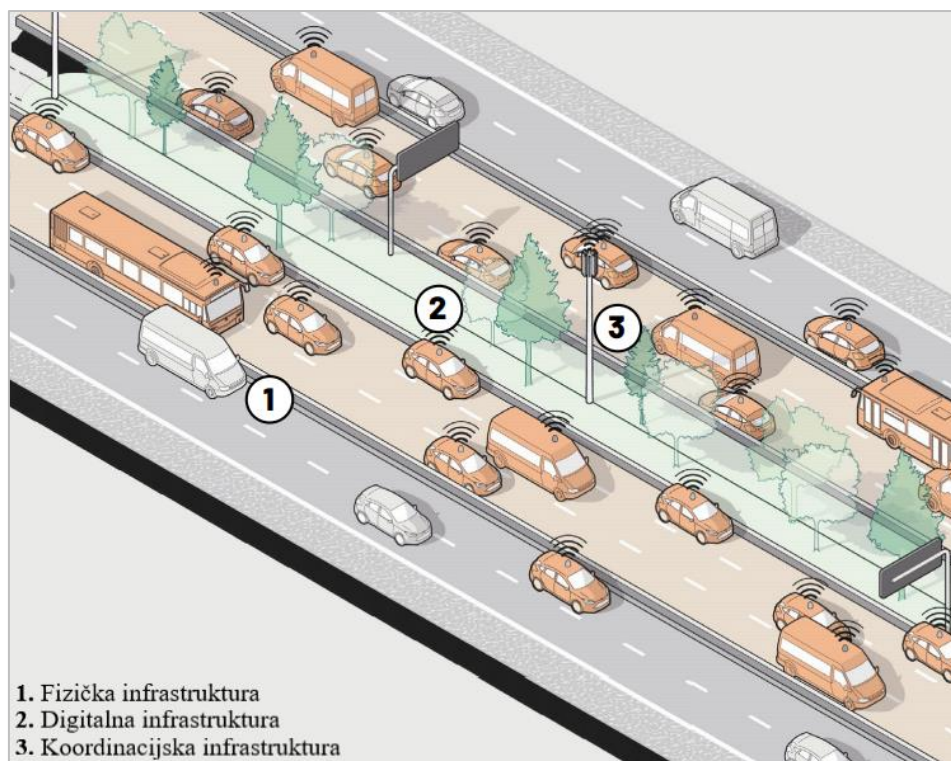
Digitalna infrastruktura mora sadržavati sljedeće [38] :

- Svugdje dostupna i pouzdana povezanost
- Karte visoke razlučivosti

- GPS visoke preciznosti
- Senzori na cesti koji će pratiti promet, vrijeme i stanje na cesti.

Koordinacijska infrastruktura uključuje sljedeće [38] :

- Sustav za koordiniranje vozila
- Sustav upravljanja interoperabilnosti
- Mogućnost da nadležna tijela vezana uz promet postave ciljeve politike kako bi se poboljšala mobilnost i pristupačnost te kako bi se pratio njihov učinak.



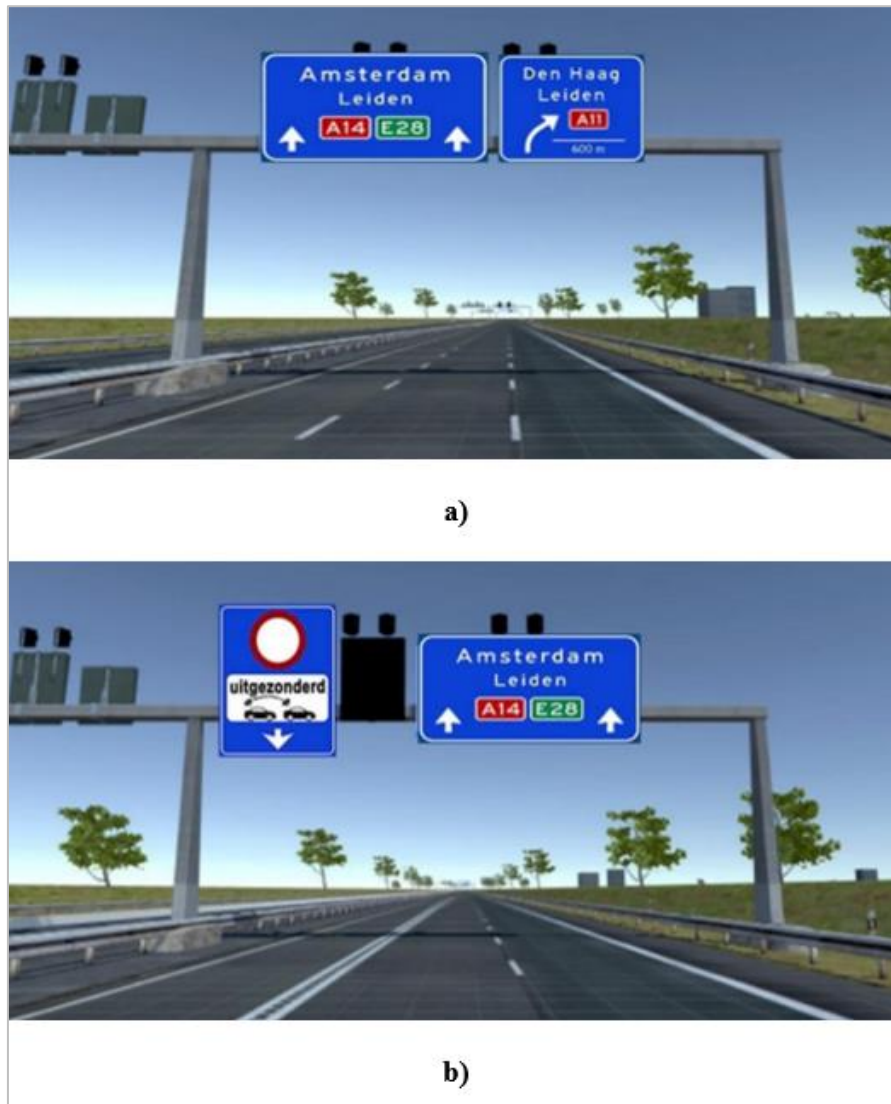
Slika 33. Prikaz koridora autoceste za AV-ove

Izvor: [38]

Kako bi se povećala sigurnost, automatizirana vozila trebala bi se prebaciti na razinu automatizacije od nula do dva ako nisu u namjenskim trakama te ako uvjeti na cesti to zahtijevaju, primjerice ako pada jak snijeg, ako postoji poplava ili ako su radovi na cesti.

Kada je riječ o namjenskoj traci za CAV-ove, na slici 34 prikazano je simulirano okruženje nizozemske autoceste s tri prometne trake u jednom smjeru te s prometnom signalizacijom koja je u skladu s nizozemskim propisima. Na slici 34 a) prikazana je situacija za mješoviti promet, a na slici 34 b) prikazana je namjenska traka za CAV-ove. Krajnja lijeva traka na autocesti namijenjena je CAV-ima i stoga im nije dopušteno voziti u ostalim

prometnim trakama. Kako bi i ostali sudionici bili obaviješteni o namjenskoj traci, primijenjena je dvostruka uzdužna crta koja razdvaja namjensku traku od ostalih prometnih traka. Također je dodan znak s promjenjivim porukama kao što je prikazano na slici 34 b) kako bi se dodatno pojasnila svrha ove trake.



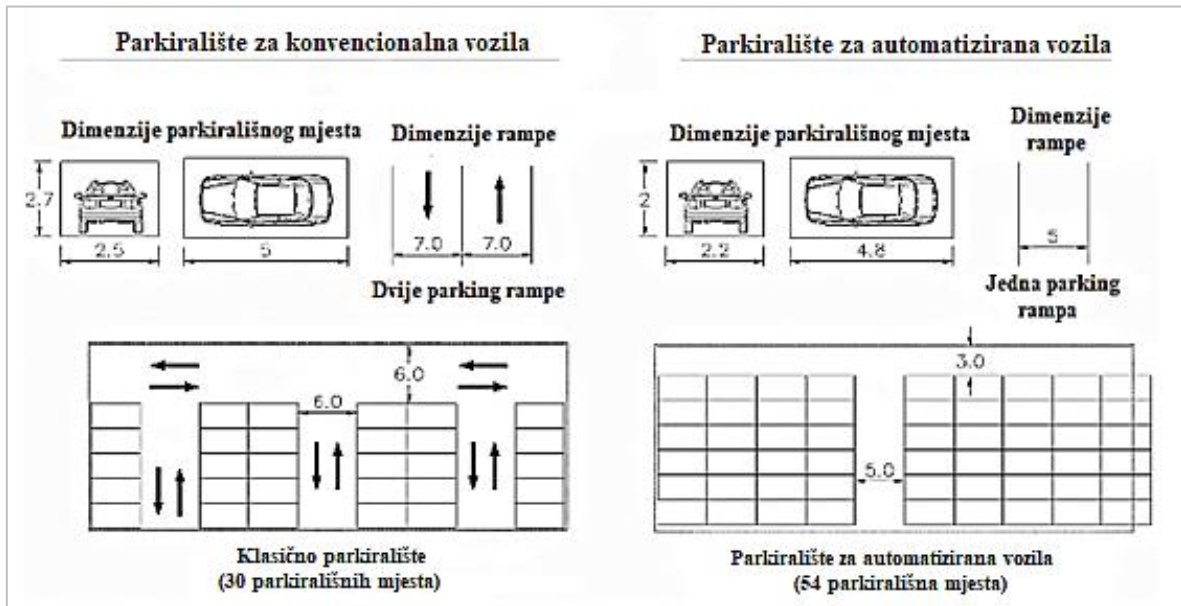
Slika 34. Izgled klasične nizozemske autoceste za mješoviti promet (a) i sa namjenskom trakom za CAV-ove (b), [39]

5.4. Smjernice za izgradnju parkirališta

Razna istraživanja pokazuju da će autonomni sustavi parkiranja vozila omogućiti da se vozila parkiraju bliže jedno drugom i tako će parkirališta moći smjestiti više vozila. AV-ovi se mogu međusobno puštati van s parkirališta kada je to potrebno, a shodno tome, na slici 35 je prikazana usporedba između rasporeda parkirališnih mjesta za parkiranje u slučaju konvencionalnih vozila i AV-ova koji koriste predloženu tehniku blokiranja. Takva metoda

zahtijeva daljinsko upravljanje vozilima od strane operatera parkirališta te je neophodan elektronički način plaćanja jer u vozilu neće biti putnika [36].

Na slici 35 je također vidljivo da su potrebne manje dimenzije parkirališnog mjesta za autonomna vozila te da se na jednakoj površini može smjestiti veći broj parkirališnih mjesta.



Slika 35. Izgled parkirališnih mjesta za konvencionalna vozila i za autonomna vozila s predloženom tehnikom blokiranja

Izvor: [36]

5.5. Smjernice za označavanje horizontalne signalizacije

Čovjek će moći preuzeti kontrolu nad vozilom do četvrte razine automatizacije, što je još jedan dodatni razlog koji potvrđuje da su oznake na kolniku važan infrastrukturni element. Osim toga, horizontalna signalizacija važna je za sigurnost u prometu i smatra se da će biti od velike važnosti i u budućnosti jer nepovoljni vremenski uvjeti i dotrajale oznake na kolniku predstavljaju velike izazove pri radu kamere.






Kada je riječ o označavanju ceste, visokokvalitetno označavanje predstavlja potencijalno rješenje za povećanje vidljivosti svih oznaka na kolniku. Primjer takvog označavanja su visokokvalitetne oznake na cesti na bazi hladne plastike s velikom vidljivošću čije su oznake otporne na prljavštinu. Nasuprot tome, jedna od inovacija su radarsko reflektirajuće oznake na cesti koje su također na bazi hladne plastike te koje se mogu detektirati izvan vidnog područja i u nepovoljnim vremenskim uvjetima.

Postoji puno rasprava o tome kako će se izvoditi oznake na cesti i o standardima za autonomnu vožnju. *European Road Foundation* preporučuje retroreflektirajuće oznake koje osiguravaju noćnu vidljivost od minimalno 150 mcd/lx/m² kada je suho i minimalno 35 mcd/lx/m² u kišnim uvjetima, dok za minimalnu širinu linije preporučuju 150 mm [40].

Kalifornijski odjel za promet uveo novi standard za minimalnu širine linije, zamjenjujući širinu od 10 cm sa širinom od 15 cm. Stručnjaci se većinom slažu sa navedenim dimenzijama za označavanje linija na kolniku, ali rezultati studije *CEF SLAIN* pokazali su da širina linija nije u tolikoj mjeri važna koliko stanje same linije, odnosno da je puno važnije osigurati optimalan kontrast i dosljednost linija na kolniku.

Nadalje, analizirana je studija koja predlaže jedan od načina koji se može koristiti za sigurno kretanje AV-ova kroz radnu zonu, stoga su za nesmetano kretanje AV-ova kroz zonu radova projektirane nove oznake na kolniku kako je prikazano u tablici 8. Nove oznake na kolniku dizajnirane su tako da AV-ovi mogu razumjeti zatvaranje prometne trake i odlučiti o svojoj putanji na temelju oznaka na kolniku.

Tablica 8. Nove oznake na kolniku za sigurno kretanje AV-ova u zoni radova

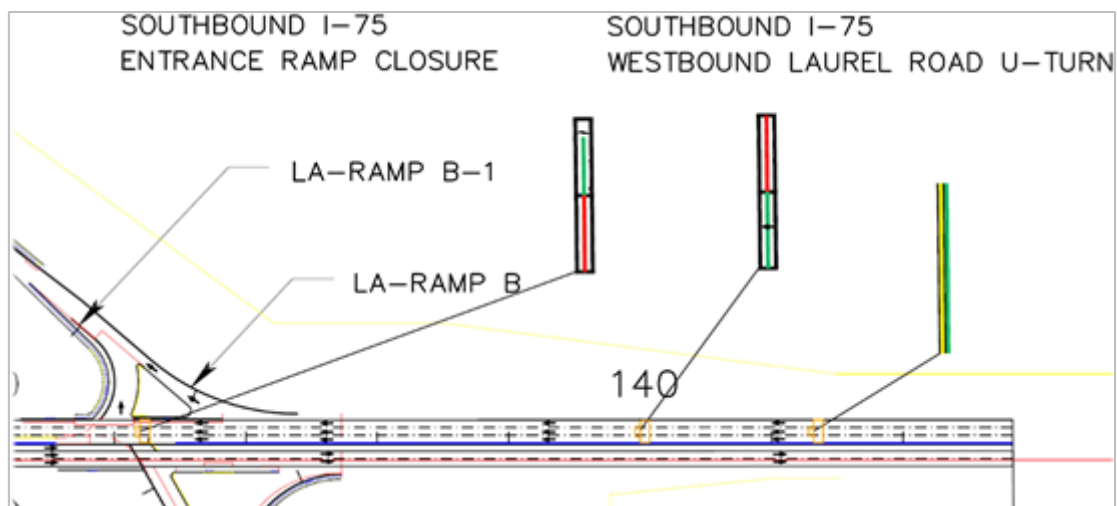
| Broj | Svrha oznake | Oblik i boja | Dimenzije oznake |
|------|--|--|--|
| 1 | Traka otvorena |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 2 | Traka zatvorena |  | 15 cm bijela + 15 cm crvena + 15 cm razmak |
| 3 | Jednotračna rampa zatvorena <i>Zabranjeno skretanje udesno</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm crvena + 15 cm razmak |
| 4 | Jednotračna rampa otvorena <i>Zabranjena vožnja lijevom trakom</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm crvena + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 5 | Dopuštena vožnja lijevom trakom i na jednotračnoj rampi |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm razmak |

Izvor: [41]

U Prilogu 4 prikazane su dimenzije svih novih oznaka na kolniku za sigurno kretanje AV-ova u zoni radova. Dužina novih oznaka na kolniku iznosi 75 cm za oznake navedene u tablici od broja jedan do broja devet, dok dužina novih oznaka na kolniku pod brojevima deset

i jedanaest, koje su također navedene u tablici, iznosi 45 cm. Širina nove rubne crte u zoni radova iznosi 30 cm.

Na slici 36 prikazana je zatvorena spojna rampa "B" te će AV očitati zatvaranje rampe "B" pomoću oznake na kolniku, nakon čega će slijediti naredbu da se nastavi kretati ravno. Nakon toga, AV će očitati drugu oznaku koja mu dopušta skretanje udesno, na spojnu rampu "B-1" [41].



Slika 36. Kretanje automatiziranog vozila nakon zatvaranja rampe "B", [41]

5.6. Smjernice za označavanje vertikalne signalizacije

Prometni znakovi, cestovne oznake, sustavi za signalizaciju i C-ITS, bi se trebali razvijati i usklađivati na međunarodnoj, europskoj i nacionalnoj razini, kako bi se povećala sigurnost na cestama i kako bi osigurala prekogranična interoperabilnost.

S druge strane, sustav prepoznavanja prometnih znakova (engl. Traffic Sign Recognition – TSR) značajno se razvio u posljednjih nekoliko godina, ali problem je što se prometni znakovi diljem svijeta se razlikuju u velikoj mjeri. Velik dio uspješnog rada u tom području bio je u Europi, te su pri tome korišteni prometni znakovi koji su u skladu s Bečkom konvencijom o prometnim znakovima i signalizaciji [42].

Razlika između prometnih znakova utvrđenih na Bečkoj konvenciji i prometnih znakova iz priručnika *MUTCD* prikazana je na slici 37.

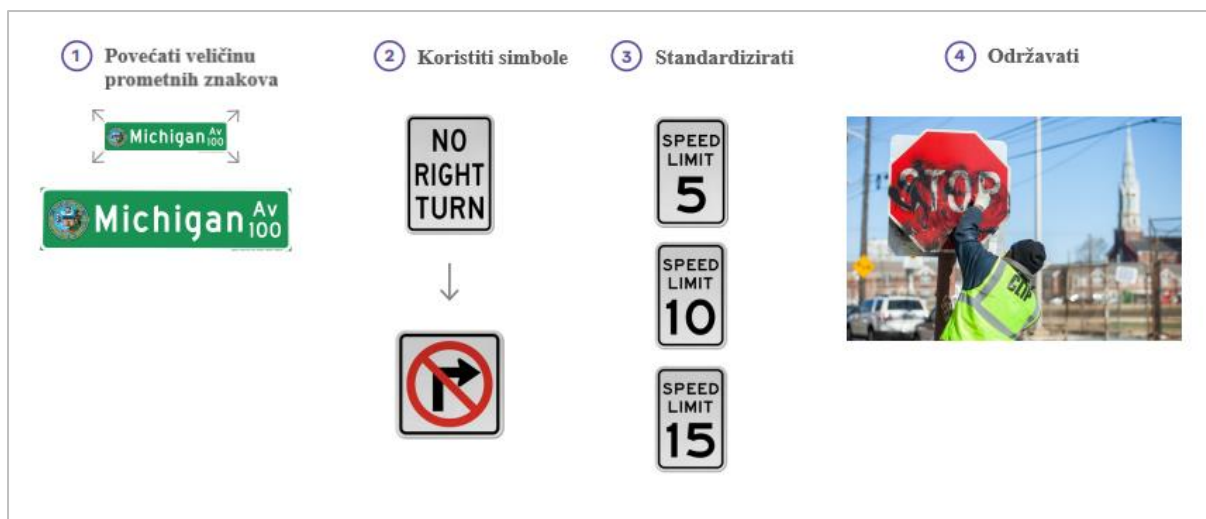


Slika 37. Razlika između prometnih znakova utvrđenih na Bečkoj konvenciji i prometnih znakova iz priručnika *MUTCD*

Izvor: [42]

Prometni znakovi u Europi imaju različite oblike, širine obruba i boje, dok se prometni znakovi u SAD-u ne razlikuju u tolikoj mjeri. Tehnologija optičkog prepoznavanja znakova (engl. Optical Character Recognition - OCR) brže i jednostavnije prepoznaje prometne znakove, međutim čak i uz navedenu tehnologiju, sustavima će probleme stvarati neujednačenost veličina, različit font i položaj teksta na prometnim znakovima. Kako bi se riješio problem prepoznavanja prometnih znakova, potrebno je poduzeti sljedeće radnje (slika 38) [42]:

- Povećati veličinu prometnih znakova kako bi se mogli otkriti na većoj udaljenosti te kako bi se omogućilo dulje vrijeme obrade TSR sustava
- Koristiti simbole koji su ekvivalent tekstualne verzije na prometnim znakovima
- Standardizirati font, veličinu, poruku i položaj znaka
- Usvojiti praksu održavanja znakova kako bi se znakovi održali čistima, neometani vegetacijom ili drugom cestovnom infrastrukturom.



Slika 38. Preporuke s kojima bi se osigurao pravilan rad sustava za prepoznavanje prometnih znakova

Izvor: [42]

Preporuke s kojima bi se poboljšalo prepoznavanje prometnih znakova pomoću sustava za prepoznavanje prometnih znakova uključuju i pravilno postavljanje prometnih znakova te osiguravanje optimalne vrijednosti retrorefleksije prometnih znakova.

Analizirana je studija u kojoj su prikazani prometni znakovi koji obavještavaju vozače o prisutnosti automatiziranih vozila na javnim cestama i koji označavaju namjenske trake za automatizirana vozila te su prema tome prikazani primjeri koji mogu biti osnova za oblikovanje prometnih znakova vezanih uz automatiziranu vožnju te koji bi se mogli primijeniti u Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.

Automatizirani automobili dio su raznih pilot projekata diljem Rusije. Za navedene projekte su napravljeni novi prometni znakovi koji obavještavaju vozače o prisutnosti takvih vozila na javnim cestama. Znakovi su izrađeni u skladu s ruskim propisima o prometnoj signalizaciji, a znakovi su postavljeni na cestama pilot regija uključujući Moskvu, Moskovsku oblast i Republiku Tatarstan.

Prometni znak koji označava početak zone za automatizirane automobile prikazan je na slici 39.



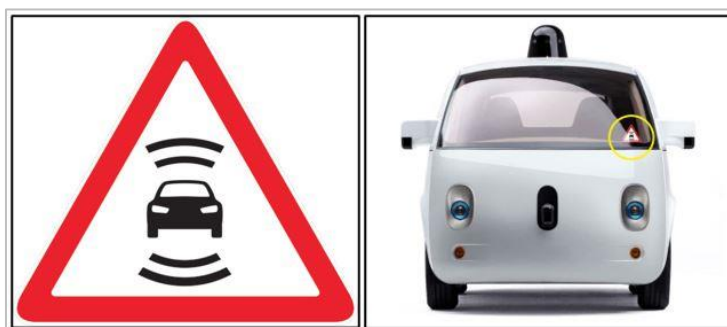
Slika 39. Zona za automatizirane automobile, [43]

Prometni znak koji označava završetak zone za automatizirane automobile prikazan je na slici 40.



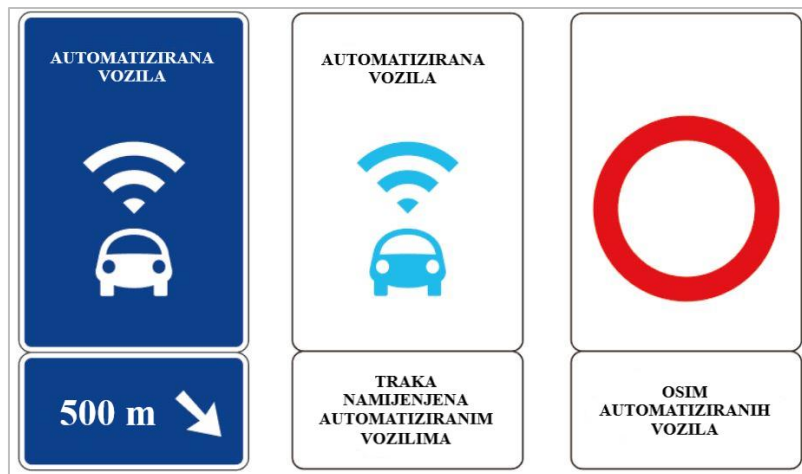
Slika 40. Završetak zone za automatizirane automobile, [43]

Prometna oznaka koja upozorava da je automatizirani automobil na javnoj cesti prikazana je na slici 41.



Slika 41. Automatizirani automobili na javnim cestama, [43]

U projektu *INFRAMIX* provedena su opsežna istraživanja iz kojih je u konačnici proizašao izgled prometnih znakova koji označavaju namjenske trake za automatizirana vozila (slika 42).



Slika 42. Prometni znakovi koji označavaju namjenske trake za automatizirana vozila

Izvor: [44]

6. Zaključak

Autonomna vožnja više ne predstavlja pojam koji je isključivo vezan uz budućnost jer se sa postepenim uvođenjem obveznih sustava u nove automobile koji aktivno utječu na sigurnost u vožnji, potvrđuje činjenica da su automatizirana vozila dio sadašnjice. S obzirom da velika većina automatiziranih vozila može biti povezana, to znači da se u bliskoj budućnosti može očekivati da će automatizirana vozila postati povezana vozila sposobna za povezanu, potpuno autonomnu vožnju. Ipak, povezana i automatizirana vozila uključuju i postojanje komunikacijske tehnologije uz cestu koja zahtjeva velika ulaganja u infrastrukturu. Stoga se autonomna vožnja trenutno temelji na senzorskim sustavima vozila.

Velik broj prometnih nesreća uzrokovano je ljudskom pogreškom, te se pokazalo kako napredni sustavi za pomoć u vožnji pridonose sigurnosti u prometu i smanjuju broj teških prometnih nesreća. Na cestama u EU, u posljednjem je desetljeću zabilježen pad broja smrtno stradalih u prometnim nesrećama od 36%, a ovako učinkovitim smanjenju broja smrtno stradalih u prometu velikim je dijelom pridonijela kontinuirana aktivnost u području razvoja vozila i sigurnosnih sustava.

U radu je analizirana planirana pametna cesta u Italiji koja sadrži tehnologije kooperativnog inteligentnog transportnog sustava kako bi se omogućila komunikacija i suradnja između vozila te između povezanih i automatiziranih vozila i infrastrukture. Rezultati istraživanja pokazali su da će automatizirana vozila zahtijevati kraće zaustavne udaljenosti u odnosu na konvencionalna vozila, stoga bi se mnoga postojeća ograničenja brzine na određenim dijelovima autoceste mogla promijeniti. Osim toga, na pametnoj cesti bi se omogućila vožnja u konvoju, odnosno povezivanje dvaju vozila ili više njih primjenom tehnologije povezivanja i sustava za potporu automatiziranoj vožnji koji bi omogućili vozilima da održavaju stalnu, kratku udaljenost tijekom određenih dijelova putovanja.

Studija o utjecaju automatiziranih vozila na postojeću infrastrukturu naglašava da bi automatizirana vozila mogla povećati sigurnost u prometu te da će budućnost autonomne vožnje uglavnom ovisiti o razini ulaganja u infrastrukturu. Glavne razlike između automatiziranih i konvencionalnih vozila prema ovome istraživanju očituju se u zaustavnom putu i visini oka vozača. Rezultati iz navedene studije pokazuju da vrijeme reakcije kod automatiziranih vozila iznosi 0,5 sek, čime se dolazi do zaključka da automatizirana vozila imaju kraći zaustavni put u odnosu na konvencionalna vozila. Shodno tome, sa povećanjem projektne brzine, povećava se i razlika duljine zaustavnog puta između uspoređenih vozila. Kada je riječ o širini

preglednosti u horizontalnom zavoju, potrebna širina preglednosti je manja za automatizirana vozila. Visina oka vozača kod potpuno automatiziranih vozila zamijenjena je visinom na kojoj je postavljen lidar, a položaj lidara na vozilu utječe na vidno polje odnosno na duljinu preglednosti, što znači da će se s povećanjem visine lidara povećati i duljina preglednosti kod potpuno automatiziranih vozila. Stoga se može zaključiti da je položaj lidara ključan čimbenik pri izračunima polumjera vertikalnih zavoja. U radu je prikazan konceptualni prikaz usporedbe minimalnih polumjera konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete za konvencionalna vozila i za potpuno automatizirana vozila iz kojeg se može donijeti zaključak da je minimalni polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete nekoliko puta manji za potpuno automatizirana vozila zbog visine lidara.

Potpuno automatizirana vozila slijede i održavaju preciznu putanju, što znači da će takva vozila voziti preko istih dijelova cestovnih površina te se prema tome može zaključiti kako bi u budućnosti prometne trake mogle biti manje širine, a višak prostora bi se mogao iskoristiti za drugu namjenu poput biciklističkih traka, širih nogostupa ili zelenih površina. Po takvoj cesti bilo bi dozvoljeno kretanje isključivo potpuno automatiziranim vozilima jer takva cesta bila bi neprikladna za promet konvencionalnim vozilima odnosno vozači ne bi mogli na siguran način upravljati vozilom na prometnici takvih dimenzija.

Kako će potpuno automatizirana vozila slijediti preciznu putanju, tako će doći i do bržeg trošenja površine ceste i potencijalnih oštećenja. Iz tog razloga u radu je prikazan konceptualni prikaz poprečnog presjeka ceste za potpuno automatizirana vozila, po kojoj bi mogla kretati i konvencionalna vozila, koji bi u donjem nosivom sloju, u donjem dijelu kolničke konstrukcije, sadržavao dodatno betonsko pojačanje kako bi se spriječili usjeci kotača na cestovnoj površini koje bi potencijalno potpuno automatizirana vozila mogla napraviti zbog ponavljajuće putanje dok slijede unaprijed programiranu rutu putovanja. Kada je riječ o koridoru i namjenskim trakama za povezana i automatizirana vozila, važno je naglasiti da je potrebno izgraditi i prilagoditi infrastrukturu takvim vozilima. Koridori i namjenske trake za povezana i automatizirana vozila omogućili bi vožnju većim brzinama sa manjim udaljenostima između vozila i vožnju bez zaustavljanja.

Razna istraživanja pokazuju da će autonomni sustavi parkiranja vozila omogućiti da se vozila parkiraju bliže jedno drugom i da će parkirališta namijenjena isključivo automatiziranim vozilima moći smjestiti puno više vozila od klasičnih parkirališta odnosno bit će potrebne manje dimenzije parkirališnog mjesta. U radu je analizirana predložena tehnika blokiranja na parkiralištu za automatizirana vozila koje zahtijeva daljinsko upravljanje vozilima od strane

operatera parkirališta te na kojem je neophodan elektronički način plaćanja jer u vozilu neće biti putnika.

Horizontalna signalizacija važna je za sigurnost u prometu i smatra se da će biti od velike važnosti i u budućnosti jer nepovoljni vremenski uvjeti i dotrajale oznake na kolniku predstavljaju velike izazove pri radu kamere. Visokokvalitetno označavanje predstavlja potencijalno rješenje za povećanje vidljivosti svih oznaka na kolniku. Primjer takvog označavanja su visokokvalitetne oznake na cesti na bazi hladne plastike s velikom vidljivošću čije su oznake otporne na prljavštinu. Nasuprot tome, jedna od inovacija su radarsko reflektirajuće oznake na cesti koje su također na bazi hladne plastike koje se mogu detektirati izvan vidnog područja i u nepovoljnim vremenskim uvjetima. *European Road Foundation* preporučuje retroreflektirajuće oznake koje osiguravaju noćnu vidljivost od minimalno 150 mcd/lx/m² kada je suho i minimalno 35 mcd/lx/m² u kišnim uvjetima, dok za minimalnu širinu linije preporučuju 15 cm. Rezultati studije *CEF SLAIN* pokazali su da širina linija nije u tolikoj mjeri važna koliko stanje same linije, odnosno da je puno važnije osigurati optimalan kontrast i dosljednost linija na kolniku. Analizirana je i studija koja predlaže jedan od načina koji se može koristiti za sigurno kretanje automatiziranih vozila kroz zonu radova na cesti, stoga su prikazane i analizirane oznake pomoću kojih automatizirana vozila mogu razumjeti zatvaranje prometne trake i odlučiti o svojoj putanji na temelju oznaka na kolniku.

Sustavima prepoznavanja prometnih znakova probleme mogu stvarati neujednačene veličine prometnih znakova, različit font i položaj teksta na prometnim znakovima. Kako bi se riješio taj problem, potrebno je povećati veličinu prometnih znakova, koristiti simbole koji su ekvivalent tekstualne verzije na prometnim znakovima, standardizirati font, veličinu, poruku i položaj znaka te usvojiti praksu održavanja prometnih znakova. Osim toga, treba voditi računa o pravilnom postavljanju prometnih znakova te osiguravanju optimalnih vrijednosti retrorefleksije prometnih znakova. Analizirana je studija u kojoj su prikazani prometni znakovi koji obavještavaju vozače o prisutnosti takvih vozila na javnim cestama i koji označavaju namjenske trake za automatizirana vozila. Prema tome su prikazani primjeri koji mogu biti osnova za oblikovanje prometnih znakova vezanih uz automatiziranu vožnju koji bi u konačnici mogli biti primijenjeni u Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.

Literatura

- [1] Narodne novine. Preuzeto s: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_07_85_1288.html [Pristupljeno: 5. kolovoza 2022]
- [2] Gowling WLG. *Building the road infrastructure of the future for connected and autonomous vehicles*. 2018. Preuzeto s: <https://gowlingwlg.com/getmedia/af950092-954a-43ac-ad8f-b6df65734014/building-the-road-infrastructure-of-the-future.pdf.xml?ext=.pdf> [Pristupljeno: 22. travnja 2022.]
- [3] Skarbek-Žabkin A, Szczepanek, M. Autonomous vehicles and their impact on road infrastructure and user safety. *2018 XI International Science-Technical Conference Automotive Safety*. Slovakia: IEEE; 2018. pp. 1-4. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/325912255_Autonomous_vehicles_and_their_impact_on_road_infrastructure_and_user_safety [Pristupljeno: 18. travnja 2022.]
- [4] Mandžuka S, Vučina A, Škorput P. Primjena autonomnih vozila u kriznim situacijama. U: Toth I. (ur.) *Zbornik radova Dani kriznog upravljanja 2020*. Velika Gorica: Veleučilište Velika Gorica; 2020. str. 285-293. Preuzeto s: <https://www.bib.irb.hr/1080100> [Pristupljeno: 25. travnja 2022.]
- [5] URL: https://www.researchgate.net/figure/Basic-diagram-of-self-driving-car_fig1_343150866 [Pristupljeno: 27. travnja 2022.]
- [6] Udacity. How Self-driving Cars Work: Sensor Systems. 2021. Preuzeto s: <https://www.udacity.com/blog/2021/03/how-self-driving-cars-work-sensor-systems.html> [Pristupljeno: 27. travnja 2022.]
- [7] URL: <https://www.govtech.com/transportation/autonomous-vehicles-coming-to-a-road-near-you.html> [Pristupljeno: 26. travnja 2022.]
- [8] Pribisalić I. *Autonomna vozila*. Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Sveučilišni diplomski studij Matematika i računarstvo; 2021. Preuzeto s: <https://repozitorij.unios.hr/islandora/object/mathos:529> [Pristupljeno: 28. travnja 2022.]
- [9] URL: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcShty7koG_xuNGeo8vjkbj5xaGtPMnFbm17A&usqp=CAU [Pristupljeno: 28. svibnja 2022.]
- [10] URL: <https://news.voyage.auto/an-introduction-to-lidar-the-key-self-driving-car-sensor-a7e405590cff> [Pristupljeno: 25. svibnja 2022.]

- [11] URL: <https://analyticsindiamag.com/build-your-own-ultrasonic-sensor-to-measure-distances-with-arduino/> [Pristupljeno: 28. travnja 2022.]
- [12] TechBullion. Preuzeto s: <https://techbullion.com/slam-technology-market-growth-cagr-of-38-5-industry-trends-the-surging-adoption-of-autonomous-vehicles/> [Pristupljeno: 23. svibnja 2022.]
- [13] EnterpriseAI. Preuzeto s: <https://www.enterpriseai.news/2020/07/06/4-innovations-taking-autonomous-vehicle-ai-to-the-next-level/> [Pristupljeno: 20. svibnja 2022.]
- [14] Jembrek A. *Utjecaj kvalitete prometne signalizacije na rad naprednih sustava pomoći vozaču*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2021. Preuzeto s: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz:2486> [Pristupljeno; 2. svibnja 2022.]
- [15] Blašković Zavada J. *Osnove prometne infrastrukture*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2019. Preuzeto s: <https://www.fpz.unizg.hr/file/926f50382457ae260db6b1d237ab21d0.pdf> [Pristupljeno 3. svibnja 2022.]
- [16] Korlaet Ž, Dragčević V. *Projektiranje i građenje cesta*. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2018..
- [17] Magić N. *Projekt horizontalne i vertikalne signalizacije prometnice Široke Ledine*. Sveučilište Sjever, Odjel za Graditeljstvo; 2017. Preuzeto s: <https://dabar.srce.hr/islandora/object/unin%3A1534> [Pristupljeno 3. lipnja 2022.]
- [18] Zakon.hr - *Zakon o sigurnosti prometa na cestama*. Preuzeto s: <https://www.zakon.hr/z/78/Zakon-o-sigurnosti-prometa-na-cestama> [Pristupljeno 4. svibnja 2022.]
- [19] Hrvatska enciklopedija Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža - on-line izdanje. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=50639> [Pristupljeno: 5. svibnja 2022]
- [20] Narodne novine. Preuzeto s: <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/374256.htm> [Pristupljeno: 5. svibnja 2022]
- [21] Čavka M. *Utjecaj dizajna ploča za označavanje opasnih zavoja na brzinu vožnje*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2021. Preuzeto s: <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A2485> [Pristupljeno; 2. lipnja 2022.]
- [22] Hrvatska enciklopedija Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža - on-line izdanje. Preuzeto s: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=70354> [Pristupljeno: 9. svibnja 2022.]

- [23] URL: <http://www.propisi.hr/print.php?id=7519> [Pristupljeno: 9. svibnja 2022.]
- [24] URL: <https://blogs.nvidia.com/blog/2019/04/15/how-does-a-self-driving-car-see/> [Pristupljeno: 11. svibnja 2022.]
- [25] URL: <https://www.ff.com/us/futuresight/what-is-lidar/> [Pristupljeno: 11. svibnja 2022.]
- [26] URL: <https://www.thezebra.com/resources/driving/how-do-self-driving-cars-work/> [Pristupljeno: 9. srpnja 2022.]
- [27] URL: <https://www.carexpert.com.au/car-news/traffic-sign-recognition-explained> [Pristupljeno: 11. svibnja 2022.]
- [28] URL: <https://studentsxstudents.com/systems-working-together-an-integral-part-of-self-driving-cars-8356f044b67> [Pristupljeno: 12. srpnja 2022.]
- [29] Vacek S, Schimmel C, Dillmann R. Road-marking Analysis for Autonomous Vehicle Guidance. *Proceedings of the 3rd European Conference on Mobile Robots, EMCR 2007, September 19-21, 2007, Freiburg, Germany*. 2007. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/221508440_Road-marking_Analysis_for_Autonomous_Vehicle_Guidance [Pristupljeno: 13. lipnja 2022.]
- [30] URL: <https://www.tesla.com/support/autopilot> [Pristupljeno: 15. lipnja 2022.]
- [31] URL: https://www.tesla.com/hr_HR/autopilot [Pristupljeno: 15. lipnja 2022.]
- [32] Rana MM, Hossain K. Connected and Autonomous Vehicles and Infrastructures: A Literature Review. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2021. Preuzeto s: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42947-021-00130-1> [Pristupljeno: 15. srpnja 2022.]
- [33] Škorput P. *Autonomna vozila i centralizirani sustavi upravljanja prometom* [Powerpoint slajdovi]. Preuzeto s: <https://civinet-slohr.eu/wp-content/uploads/2021/05/5.-Skorput-FPZ-CIVINET-001.pdf> [Pristupljeno: 10. svibnja 2022.]
- [34] URL: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/industries/automotive/use-cases/v2x> [Pristupljeno: 12. svibnja 2022.]
- [35] Guerrieri M. Smart Roads Geometric Design Criteria and Capacity Estimation Based on AV and CAV Emerging Technologies. A Case Study in the Trans-European Transport Network. *International Journal of Intelligent Transportation Systems*

- Research*. 2021;19: 429–440. Preuzeto s:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13177-021-00255-4> [Pristupljeno: 12. svibnja 2022.]
- [36] Othman K. Impact of Autonomous Vehicles on the Physical Infrastructure: Changes and Challenges. *Designs*. 2021;5(3):40. Preuzeto s:
<https://doi.org/10.3390/designs5030040> [Pristupljeno: 17. lipnja 2022.]
- [37] ASCE–American Society of Civil Engineers. Preuzeto s:
<https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2021/08/how-autonomous-vehicles-will-change-road-designs> [Pristupljeno: 27. lipnja 2022.]
- [38] URL: <https://www.datacenterdynamics.com/en/analysis/edge-hits-road/>
[Pristupljeno: 5. kolovoza 2022.]
- [39] Razmi Rad S, Farah H, Taale H, van Arem B, Hoogendoorn, SP. The impact of a dedicated lane for connected and automated vehicles on the behaviour of drivers of manual vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2021;82:141-153. Preuzeto s:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847821001868#>
[Pristupljeno: 5. lipnja 2022.]
- [40] Ambrsius E. *Autonomous driving and road markings* [Powerpoint slajdovi]. Geneva: Evonik; 2018. Preuzeto s:
https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp29grva/s1p5._Eva_Ambrosius.pdf [Pristupljeno: 17. srpnja 2022.]
- [41] URL: https://www.scirp.org/html/1-3500548_100074.htm [Pristupljeno: 16. srpnja 2022.]
- [42] Preuzeto s:
<https://reflectives.averydennison.com/content/dam/averydennison/reflective-responsive/documents/english/white-papers/traffic-signs-evolving-world-autonomous-vehicles.pdf> [Pristupljeno: 12. kolovoza 2022.]
- [43] Preuzeto s: <https://www.artlebedev.com/autonomous-car-sign/> [Pristupljeno: 15. kolovoza 2022.]
- [44] Schindler J, Zhang X, Wijbenga A, Mintsis E, Herbig, DL. TransAID Deliverable 5.4: Signalling for informing conventional vehicles. 2020. Preuzeto s:
https://www.researchgate.net/publication/349054683_TransAID_Deliverable_54_Signalling_for_informing_conventional_vehicles [Pristupljeno: 15. kolovoza 2022.]

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1. Senzorski sustavi na potpuno automatiziranom automobilu..... | 6 |
| Slika 2. Razlika između načina rada kamera, lidara, radara i GPS-a..... | 7 |
| Slika 3. Detekcija objekta pomoću radara | 8 |
| Slika 4. Detekcija objekata pomoću lidara | 9 |
| Slika 5. Karta izrađena pomoću lidara..... | 9 |
| Slika 6. Odašiljanje akustičnih valova pomoću ultrazvučnih senzora | 10 |
| Slika 7. Hiperspektralna kamera u različitim uvjetima rada..... | 11 |
| Slika 8. GPS odstupanje | 12 |
| Slika 9. Istovremena lokalizacija i mapiranje – SLAM..... | 13 |
| Slika 10. Poprečni presjek ceste..... | 18 |
| Slika 11. Tlocrtni elementi ceste | 23 |
| Slika 12. Vertikalno vođenje prometnice | 27 |
| Slika 13. Detekcija pješaka pomoću kamere | 31 |
| Slika 14. Detekcija objekata pomoću radara..... | 31 |
| Slika 15. Način rada lidara..... | 32 |
| Slika 16. Razlika između načina percepcije radara, lidara i kamere na automatiziranom vozilu | 33 |
| Slika 17. Način rada TSR-a | 34 |
| Slika 18. Prikaz TSR-a s prilagodljivim tempomatom..... | 34 |
| Slika 19. Prepoznavanje semafora i pješaka - Tesla Autopilot..... | 35 |
| Slika 20. Sustavi koji rade zajedno - sastavni dio automatiziranih automobila..... | 36 |
| Slika 21. Pravilno praćenje prometnih traka unutar raskrižja..... | 37 |
| Slika 22. Nepravilno praćenje prometnih traka unutar raskrižja..... | 37 |
| Slika 23. Klasifikacija strelica..... | 37 |
| Slika 24. Izlazak s autoceste pomoću autopilota..... | 39 |
| Slika 25. Automatsko parkiranje..... | 40 |
| Slika 26. Povezana vozila | 40 |
| Slika 27. V2X komunikacija..... | 42 |
| Slika 28. Razlika između zaustavnog puta AV-ova i konvencionalnih vozila | 47 |
| Slika 29. Širine preglednosti i zaustavne preglednosti za autonomna i konvencionalna vozila | 51 |

| | |
|---|----|
| Slika 30. Minimalni polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja nivelete za konvencionalna vozila (a) i za AV-ove (b) – konceptualni prikaz..... | 53 |
| Slika 31. Poprečni profil klasične ceste (a) i ceste za AV-ove (b)..... | 54 |
| Slika 32. Razlika između normalnog poprečnog profila klasične ceste (a) i ceste za potpuno automatizirana vozila (b) | 56 |
| Slika 33. Prikaz koridora autoceste za AV-ove | 57 |
| Slika 34. Izgled klasične nizozemske autoceste za mješoviti promet (a) i sa namjenskom trakom za CAV-ove (b) | 58 |
| Slika 35. Izgled parkirališnih mjesta za konvencionalna vozila i za autonomna vozila s predloženom tehnikom blokiranja..... | 59 |
| Slika 36. Kretanje automatiziranog vozila nakon zatvaranja rampe “B” | 61 |
| Slika 37. Razlika između prometnih znakova utvrđenih na Bečkoj konvenciji i prometnih znakova iz priručnika <i>MUTCD</i> | 62 |
| Slika 38. Preporuke s kojima bi se osigurao pravilan rad sustava za prepoznavanje prometnih znakova | 63 |
| Slika 39. Zona za automatizirane automobile | 64 |
| Slika 40. Završetak zone za automatizirane automobile | 64 |
| Slika 41. Automatizirani automobili na javnim cestama..... | 64 |
| Slika 42. Prometni znakovi koji označavaju namjenske trake za automatizirana vozila | 65 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Razine autonomnosti vozila s pripadajućim primjerima..... | 5 |
| Tablica 2. Širina prometnog traka u odnosu na projektnu brzinu | 18 |
| Tablica 3. Odnos širine prometnog traka i rubnog traka | 19 |
| Tablica 4. Minimalni polumjeri zavoja ovisno o projektnim brzinama | 24 |
| Tablica 5. Najmanji konveksni polumjer R_{min} | 28 |
| Tablica 6. Najmanji konkavni polumjeri R_{min} | 28 |
| Tablica 7. Razlika između zaustavnog puta kod AV-ova i konvencionalnih vozila..... | 47 |
| Tablica 8. Nove oznake na kolniku za sigurno kretanje AV-ova u zoni radova..... | 60 |

Popis grafikona

| | |
|---|----|
| Grafikon 1. Ovisnost brzine i zaustavnog puta u odnosu na vožnju uzbrdicom..... | 48 |
| Grafikon 2. Ovisnost brzine i zaustavnog puta u odnosu na vožnju nizbrdicom..... | 48 |
| Grafikon 3. Ovisnost širine preglednosti i polumjera horizontalnog zavoja u odnosu na brzinu s kojom se omogućuje zaustavna preglednost | 50 |

Popis kratica

| | |
|-------|---|
| ACC | Adaptive Cruise Control – prilagodljivi tempomat |
| ADAS | Advanced Driver Assistance System – napredni sustavi pomoći vozaču |
| AEB | Automatic Emergency Brake – sustav automatskog kočenja |
| AI | Artificial intelligence – umjetna inteligencija |
| AMS | Accidents monitoring system - sustav za praćenje prometnih nesreća |
| AV | Autonomous vehicle – autonomno vozilo |
| BSD | Blind Spot Detection – sustav za nadzor mrtvog kuta |
| BSW | Blind Spot Warning – sustav upozorenja za mrtvi kut |
| CAV | Connected autonomous vehicle – povezano autonomno vozilo |
| CV | Connected vehicle – povezano vozilo |
| DATMO | Detection and Tracking of Moving Obstacles – detektiranje i praćenje objekata u pokretu |
| DL | Deep Learning – duboko učenje |
| DRL | Deep Reinforcement Learning – duboko podržano učenje |
| FCW | Forward Collision Warning – sustav kontrole na sudar sprijeda |
| GI | Green Islands – zeleni otoci |
| GPS | Global Positioning System – globalni pozicijski sustav |
| ICT | Information and Communications Technology – informacijske i komunikacijske tehnologije |
| IMU | Inertial Measurement Unit – inercijska mjerna jedinica |
| IoT | Internet of Things – internet stvari |
| ISP | Image signal processor – procesor signala slike |
| LCA | Lane Change Assistant – sustav za pomoć pri promjeni prometne trake |
| LDW | Lane Departure Warning – upozorenje za napuštanje prometne trake |

| | |
|------|--|
| LKA | Lane Keeping Assistance – pomoć za održavanje vozila u prometnoj traci |
| LKS | Lane Keeping System – sustav za održavanje vozila u prometnoj traci |
| LOS | Level of Service – razina usluge |
| ML | Machine Learning – strojno učenje |
| OCR | Optical Character Recognition - optičko prepoznavanje znakova |
| RSU | Road Side Units – objekti pored ceste |
| SAE | Society of Automotive Engineers – udruga automobilskih inženjera |
| SLAM | Simultaneous localization and mapping – istovremena lokalizacija i mapiranje |
| TSR | Traffic Sign Recognition – sustav prepoznavanja promjenih znakova |
| V2I | Vehicle-to-Infrastructure – komunikacija između vozila i infrastrukture |
| V2P | Vehicle-to-Pedestrian – komunikacija između vozila i pješaka |
| V2V | Vehicle-to-Vehicle – komunikacija između vozila |
| V2X | Vehicle-to-Everything – komunikacija između vozila i ostalih sudionika u prometu |
| VSL | Variable Speed limits – promjenjivo ograničenje brzine |

Popis priloga

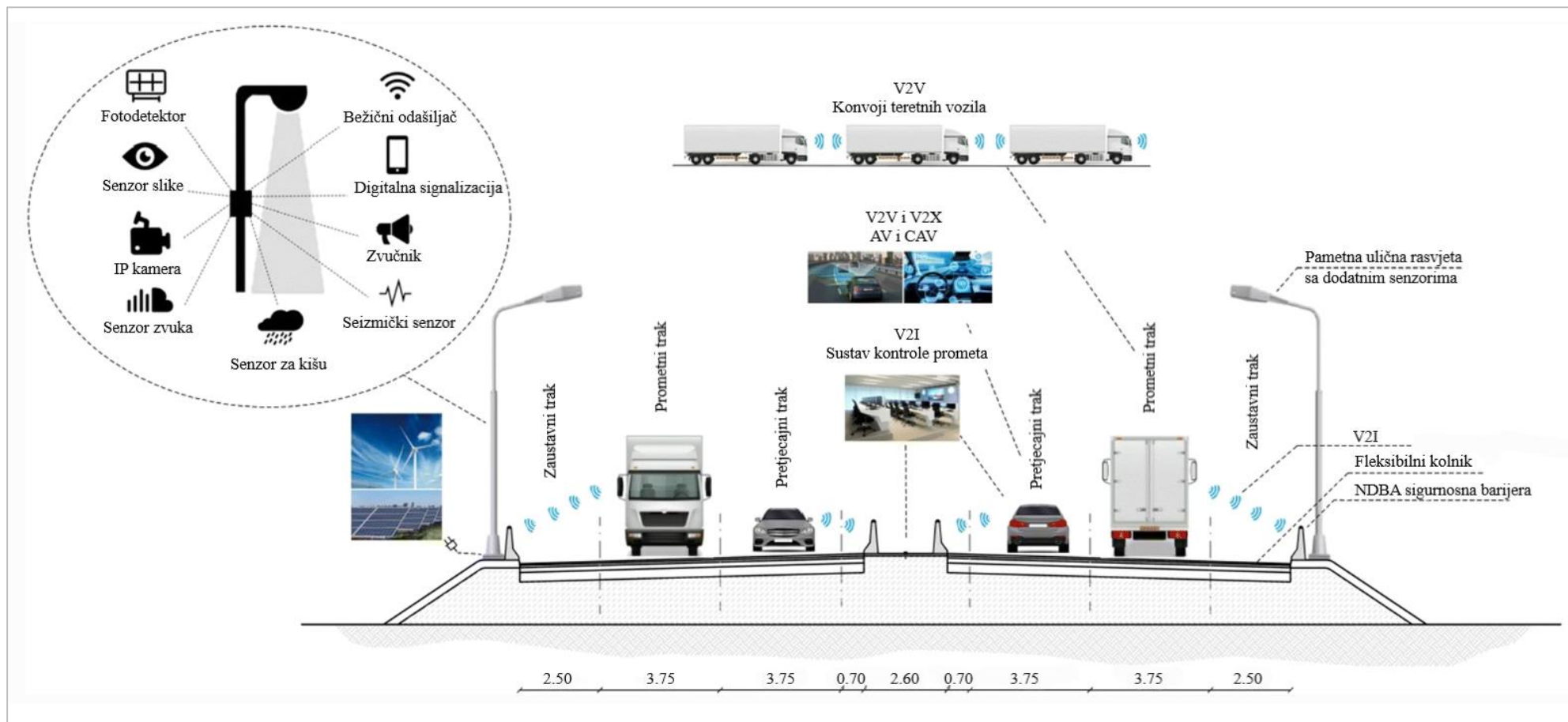
Prilog 1. Pametna autocesta za automatizirana vozila

Prilog 2. Normalni poprečni profil klasične ceste

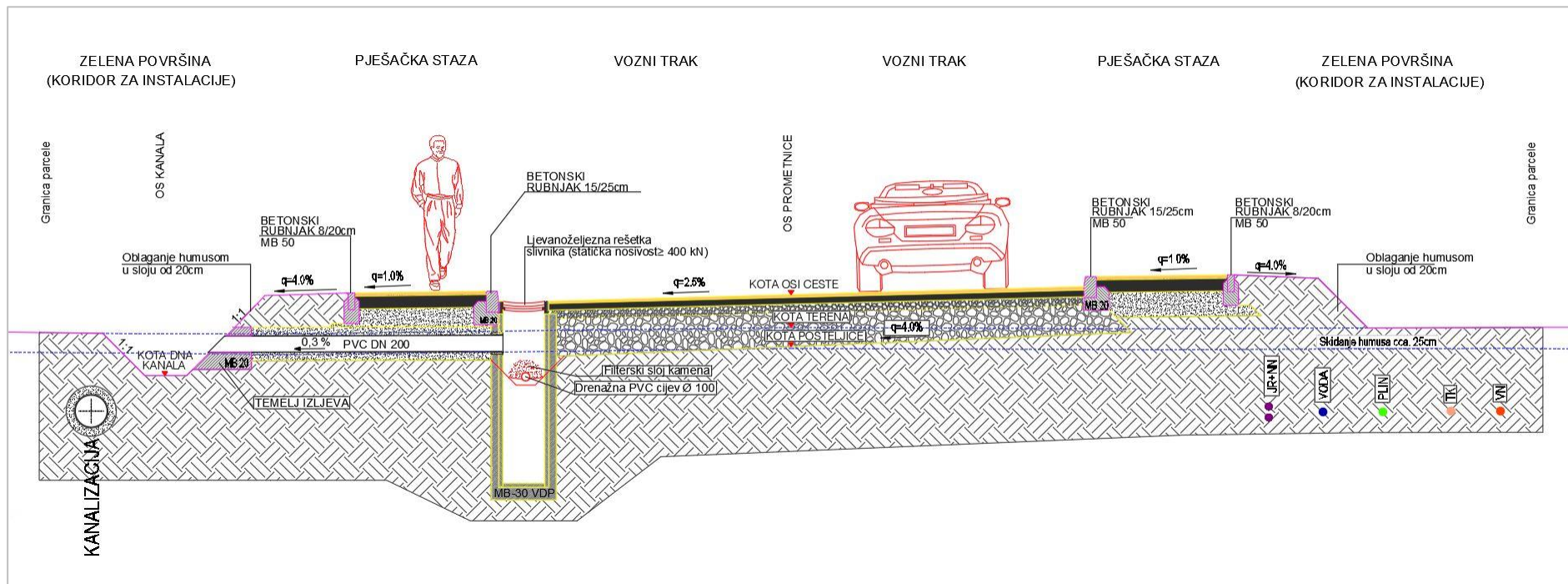
Prilog 3. Normalni poprečni profil ceste za potpuno automatizirana vozila

Prilog 4. Nove oznake na kolniku za sigurno kretanje automatiziranih vozila u zoni radova na cesti

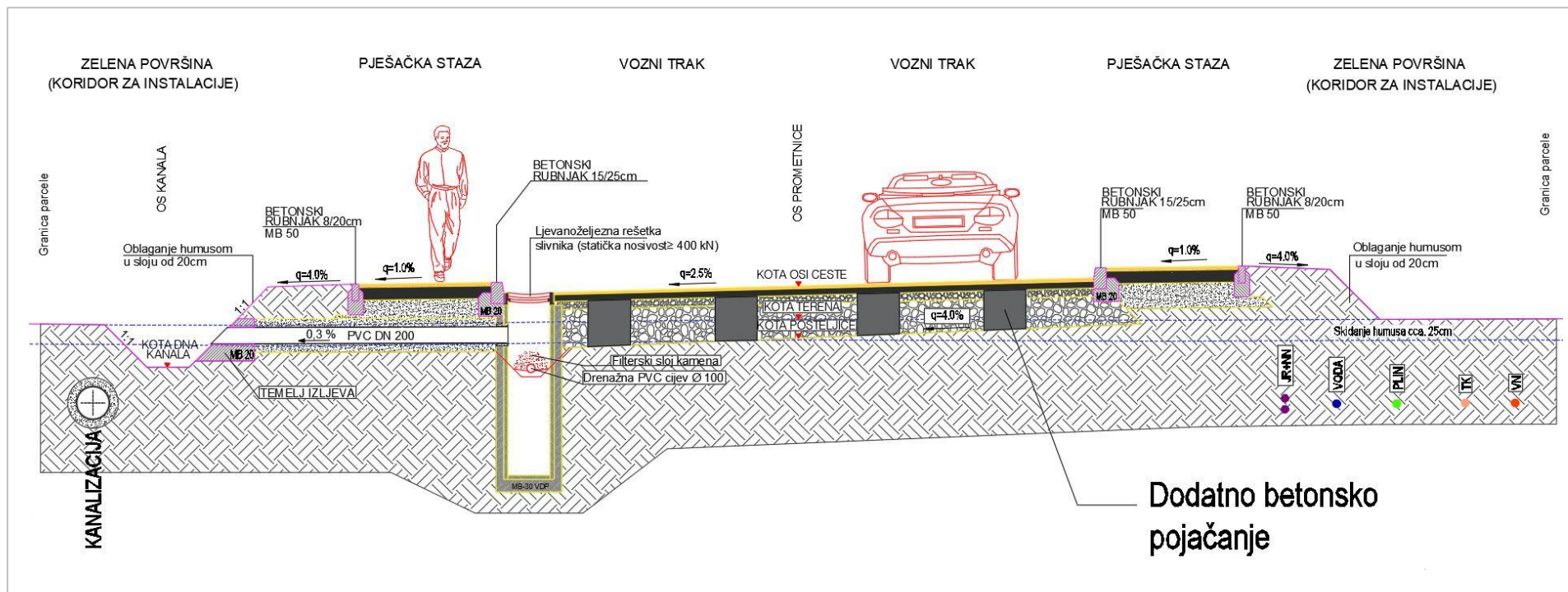
Prilog 1. Pametna autocesta za automatizirana vozila








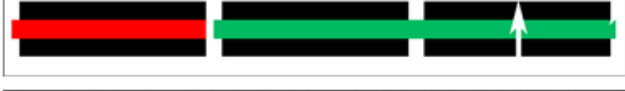






Prilog 2. Normalni poprečni profil klasične ceste



Prilog 3. Normalni poprečni profil ceste za potpuno automatizirana vozila



Prilog 4. Nove oznake na kolniku za sigurno kretanje automatiziranih vozila u zoni radova na cesti

| Broj | Svrha oznake | Oblik i boja | Dimenzije oznake |
|------|--|--|--|
| 1 | Traka otvorena |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 2 | Traka zatvorena |  | 15 cm bijela + 15 cm crvena + 15 cm razmak |
| 3 | Jednotračna rampa zatvorena <i>Zabranjeno skretanje udesno</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm crvena + 15 cm razmak |
| 4 | Jednotračna rampa otvorena <i>Zabranjena vožnja lijevom trakom</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm crvena + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 5 | Dopuštena vožnja lijevom trakom i na jednotračnoj rampi |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 6 | Lijeva traka na dvotračnoj rampi zatvorena <i>Skretanje ulijevo</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm crvena + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 7 | Desna traka na dvotračnoj rampi zatvorena <i>Skretanje ulijevo</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm crvena + 15 cm razmak |
| 8 | Jednotračna rampa zatvorena <i>Zabranjeno skretanje ulijevo</i> |  | 15 cm bijela + 15 cm crvena + 15 cm zelena + 15 cm razmak |
| 9 | Polukružno okretanje |  | 15 cm bijela + 15 cm zelena + 15 cm crvena + 15 cm razmak |
| 10 | Početak radne zone |  | 2 × 7.5 cm bijela + 15 cm žuta + 15 cm zelena |
| 11 | Kraj radne zone |  | 2 × 7.5 cm bijela + 15 cm žuta + 15 cm crvena |
| 12 | Rubna crta u radnoj zoni |  | 2 × 7.5 cm bijela + 15 cm žuta |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

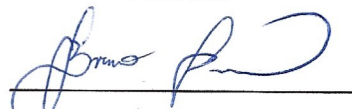
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada pod naslovom **Prilagodba infrastrukture cestovnog prometa autonomnoj vožnji**, na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 6.9.2022

Student



(potpis)