

Analiza razvoja tehnologija i sustava osobnih autonomnih vozila

Čičko, Tina

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:651095>

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

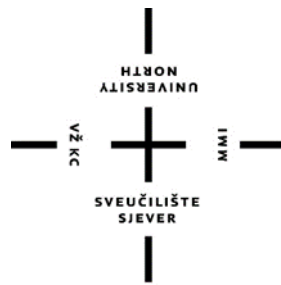
Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-15**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 009/LIM/2022

**Analiza razvoja tehnologija i sustava
osobnih autonomnih vozila**

Tina Čičko, 3298/336

Varaždin, rujan 2022. godine



**Sveučilište
Sjever**

Logistika i mobilnost

Završni rad br. 009/LIM/2022

**Analiza razvoja tehnologija i sustava
osobnih autonomnih vozila**

Student:

Tina Čičko, 3298/336

Mentor:

Predrag Brlek, doc.dr.sc

Varaždin, rujan 2022. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za logistiku i održivu mobilnost

STUDIJ preddiplomski stručni studij Logistika i mobilnost - Varaždin

PRISTUPNIK Tina Čičko

MATIČNI BROJ 3298/336

DATUM 05.09.2022.

KOLEGIJ Održivi sustavi prijevoza putnika i roba

NASLOV RADA Analiza razvoja tehnologija i sustava osobnih autonomnih vozila

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Analysis of the development of technologies and systems of personal autonomous vehicles

MENTOR dr.sc. Predrag Brlek

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

- Ivan Cvitković, predavač, predsjednik
- doc.dr.sc. Predrag Brlek, mentor
- doc.dr.sc. Ivana Martinčević, član
- dr. sc. Vesna Sesar, pred., zamjenska članica
-

VŽKC

MMI

Zadatak završnog rada

BROJ 009/LIM/2022

OPIS

Autonomna osobna vozila još nisu dostigla svoj vrhunac potpune autonomije, no jasno je definiran njihov razvoj kroz šest razina autonomije koji će se detaljnije objasniti kroz ovaj završni rad. Problem istraživanja ovog završnog rada je razvoj autonomije osobnih vozila i tehnologija koja se pritom koristi. Pojašnjene su do sad postignute razine kroz sustave autonomije. Predmet istraživanja je pogled u budućnost te cilj razvoja potpune autonomije. Cilj ovog istraživanja je detaljnije razumijevanje pojma autonomije, osobnih autonomnih vozila i njihovih prednosti, odnosno nedostataka pojavom i razvojem na tržištu.

ZADATAK URUČEN

05.09.2022.

POTPIS MENTORA

Predrag Brlek



SVEUČILIŠTE
SJEVER

Predgovor

Zahvaljujem se svom mentoru doc.dr.sc. Predragu Brleku na pruženoj pomoći i vodstvu kroz pisanje ovoga rada.

Također, veliko hvala svim profesorima i asistentima Sveučilišta Sjever na znanju koje sam stekla kroz ove tri godine.

Na kraju bih se zahvalila svim kolegama na podršci te obitelji i bližnjima na povjerenju i razumijevanju tokom studiranja.

Sažetak

Svijet se sve brže mijenja i živimo u vremenu brzog razvoja te sve modernijih tehnologija. Veliku važnost za kvalitetno funkcioniranje svih aktivnosti društva daje promet. Promet osigurava svakodnevnu mobilnost ljudi te je ključan u svim aspektima našeg života. Težimo sve većoj digitalizaciji i automatizaciji te tako niti automobilska industrija ne želi biti iznimka. Automobili postaju sve samostalniji te je cilj zamijeniti čovjekovu ulogu u vozilu te mu time na neki način pomoći. Zbog značajnog napretka, autonomni automobili postaju stvarnost. Ljudska populacija raste, a time i broj automobila raste što uvelike utječe na prometnu infrastrukturu. Uz sve to, ljudi rade pogreške i događaju se nesreće. Kako bi se na cestama smanjile stresne situacije sve se više ulaže u razvoj automobila i njihove autonomije.

U ovom radu opisan je razvoj autonomije osobnih vozila, tehnologije rada, navedene su prednosti i nedostaci takvih vozila, do sada postignute razine autonomije te što nas čeka u budućnosti.

Ključne riječi: osobna autonomna vozila, razine autonomije, tehnologije rada autonomnih vozila, napredni sustavi pomoći vozaču

Summary

The world is changing faster by the day and we living in times of rapid developments, especially technological. It has a great importance in the good functioning of all society. It ensures every day's mobility of all people and is crucial in each aspect of our lives. We strive towards greater digitalization and automatization, ergo the car industry isn't an exception. Cars are becoming more independent and their goal is to help human by replacing his role in the vehicle, hence in a way be helpful. Due to the significant progress, autonomous cars are becoming a reality. Human population is growing, as well as the number of cars, which has great impact on transport infrastructure. Additionally, people make mistakes and accidents happen. In order to reduce stressful situations on the road, there have been many investments in car development and their autonomy.

In this paper development of personal car autonomy is described, as well as technology and advantages and disadvantages of autonomous vehicles. Furthermore, so far achieved levels of autonomy are described and what awaits us in the future.

Key words: personal autonomous vehicles, levels of autonomy, working technologies of autonomous vehicles, advanced assistance systems for the driver

Popis korištenih kratica

Radar	Radio Detection and Ranging Otkrivanje i određivanje udaljenosti radiovalovima
Lidar	Light Detection and Ranging Svjetlosno zamjećivanje i klasifikacija
GPS	Global Positioning System Globalni položajni sustav
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency Agencija za napredne istraživačke projekte obrane
SAE	Society of Automotive Engineers Društvo automobilskih inženjera
BASt	German Federal Highway Research Institute Njemački savezni institut za istraživanje autocesta
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration Nacionalna uprava za sigurnost u prometu
ADAS	Advanced driver-assistance systems Napredni sustavi za pomoć vozaču
ADS	Automated Driving Systems Automatizirani sustavi vožnje
HAV	Highly automated vehicle Visoko automatizirano vozilo
AEBS	Advanced Emergency Braking System Automatski sustav za kočenje u nuždi
ACC	Adaptive cruise control Prilagodljivi tempomat
EV	Electric Vehicle Električno vozilo
AV	Autonomous Vehicle Autonomno vozilo
OEM	Original Equipment Manufacturer Proizvođač originalne opreme

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Problem i predmet istraživanja.....	2
1.2. Svrha i cilj istraživanja	2
1.3. Struktura rada	2
2. Pojam autonomije kroz povijest	4
3. Razvoj autonomnih vozila	7
4. Razine autonomnosti	8
4.1. Nulta razina	8
4.2. Prva razina.....	8
4.3. Druga razina	9
4.4. Treća razina	9
4.5. Četvrta razina	10
4.6. Peta razina	11
5. Upravljački sustavi autonomnih vozila	12
6. Tehnologija rada osobnih autonomnih vozila	14
6.1. Senzori kratkog dometa	14
6.2. Senzori dugog dometa	16
6.2.1. Radar	17
6.2.2. Lidar	18
6.2.3. GPS.....	19
7. Prednosti osobnih autonomnih vozila	20
8. Nedostaci osobnih autonomnih vozila	22
9. Istraživanja	24
10. Postignute razine autonomije osobnih vozila	25
10.1. Sustavi razine 2	25
10.1.1. Autopilot.....	28
10.1.2. Super Cruise.....	29
10.2. Sustavi razine 3	30
10.2.1. Traffic Jam Pilot	30
10.2.2. Drive Pilot	31
10.3. Googleov projekt Waymo	32
10.4. Pojava osobnih autonomnih vozila u Hrvatskoj.....	34
10.5. Budućnost automobila bez vozača	38
11. Zaključak	40
12. Literatura	42

1. Uvod

Najčešće korišteno prijevozno sredstvo današnjice je automobil. Od početka razvoja do danas, automobili mijenjaju našu svakodnevnicu. Dolazimo do velikih promjena u industriji i tehnologiji. Proizvodnja automobila smatra se jednom od prvih industrija koja je koristila pokretnu traku. Automobili su ljudima olakšali život, olakšali pristup poslovnom svijetu te raznim drugim uslugama. Sve je to dovelo do razvoja prometne infrastrukture, cesta i transporta. Omogućeno je brže kretanje, a ljudi sve do ranih 1900-ih nisu živjeli puno dalje od mjesta gdje su odrasli. Kretanja na male odaljenosti bila su duga i naporna. Automobili su ljudima dali veću slobodu i udobnost. No, nažalost to je povuklo i loše strane. Prometne nesreće postale su svakodnevna pojava gdje nažalost dolazi do strašnih ozljeda i smrtnih ishoda. Uz sve to, sve je veća zabrinutost u ekološkom smislu, odnosno pogonskom gorivu kojeg koristimo. Smatra se da je upravo promet taj koji je odgovoran za velik postotak emisije stakleničkih plinova, čak oko 27 %.

Automobili se nikada nisu prestali razvijati, a s obzirom da nailazimo na prethodno spomenute i loše strane njihova postojanja, cilj današnjice je u potpunosti olakšati čovjekovu ulogu za volanom te isto tako pokušati voditi brigu za okoliš.

Stvaraju se najnovije tehnologije, kojima je cilj pružiti što veću sigurnost čovjeku. Danas, sve više vozila ima tehnologije za pomoć vozaču koje sprječavaju moguće ozljede na cestama prilikom prometnih nesreća, odnosno spašavaju naše živote. Neke tehnologije dizajnirane su da nas upozore za moguću opasnost, dok su neke predviđene da poduzmu radnje kako bi se sudar izbjegao.

Autonomna vozila poput autobusa i kamiona već uvelike prometuju svjetskim prometnicama. Početkom lipnja 2019. u Beču su se prvi putnici imali prilike provozati autobusima bez vozača bečkog poduzeća za javni prijevoz *Wiener Linien*. 2020. godine javlja se autonomni autobus *Evo* iz Navya, Francuske sa uslugom prijevoza putnika. 2021. godine u kineskom velegradu Zhengzhou je pokrenut jedan od najvećih projekata u svijetu vezan uz uvođenje autonomnih autobusa i taxija u promet. Iste godine i finskim ulicama počinju prometovati autonomni autobusi pod nazivom *Gacha*. U Njemačkoj već neko vrijeme javnim cestama prometuju autonomni kamioni, a ove godine je i u SAD-u izdana prva dozvola za prometovanje javnim cestama autonomnim kamionima.

S obzirom na spomenuta autonomna vozila koja su već uvelike uključena u promet, sve se više priča o budućnosti i razvoju potpuno autonomnih osobnih vozila. Nekada je to samo bila vizija, a danas postaje stvarnost. Puno se ulaže u sigurna testiranja i razvoj sustava automatizirane vožnje. Sigurnost bi bila jedna od najvećih prednosti ovakve vožnje. Osim sigurnosti, moglo bi doći do povećanja mobilnosti, razvitka gospodarske i društvene koristi, smanjenja onečišćenja zraka i zaštite okoliša i tako dalje.

Autonomna osobna vozila još nisu dostigla svoj vrhunac potpune autonomije, no jasno je definiran njihov razvoj kroz šest razina autonomije koje ću detaljnije objasniti kroz svoj završni rad.

1.1. Problem i predmet istraživanja

Problem istraživanja ovog završnog rada je razvoj autonomije osobnih vozila i tehnologija koja se pritom koristi. Pojašnjene su do sad postignute razine kroz sustave autonomije. Predmet istraživanja je pogled u budućnost te cilj razvoja potpune autonomije.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je detaljnije razumijevanje pojma autonomije, osobnih autonomnih vozila i njihovih prednosti, odnosno nedostataka pojavom i razvojem na tržištu.

1.3. Struktura rada

Završni rad sastoji se od deset poglavlja. Prvo poglavlje završnog rada „Uvod“ je uvodno poglavlje u kojem se ulazi u tematiku samog rada. Opisuje se važnost razvoja automobila od početka pa do danas, napredak tehnologija te budućnost razvoja osobnih autonomnih vozila.

U drugom poglavlju opisuje se sam pojam autonomije te povijest razvoja od početka 1925.godine kada se javlja prvi korak prema autonomnim vozilima.

Treće poglavlje naziva se „Razvoj autonomnih vozila“ koje opisuje razvoj kroz povijest u tri faze; faza temeljnog istraživanja, faza velikih izazova i faza komercijalnog razvoja.

Četvrto poglavlje opisuje razine autonomije, odnosno zahtjeve kroz šest definiranih faza donesenih od strane „Organizacije za standarde“- „SEA“ (Society of Automotive Engineers). Faze su u rasponu od razine 0 (potpuno ručno) do razine 5 (potpuno autonomno).

Poglavlje pet govori o arhitekturi upravljačkog sustava autonomnih vozila.

U poglavlju šest opisana je senzorska tehnologija i podjela sustava senzora u dvije grupe gdje je svaki senzor detaljnije objašnjen.

Sedmo i osmo poglavlje su poglavlja u kojima su definirane prednosti i nedostaci osobnih autonomnih vozila.

U devetom poglavlju opisana su istraživanja na temu „Što je sigurnije: automobili bez vozača ili oni kojima upravljaju ljudi?“, gdje su navedeni glavni mogući problemi.

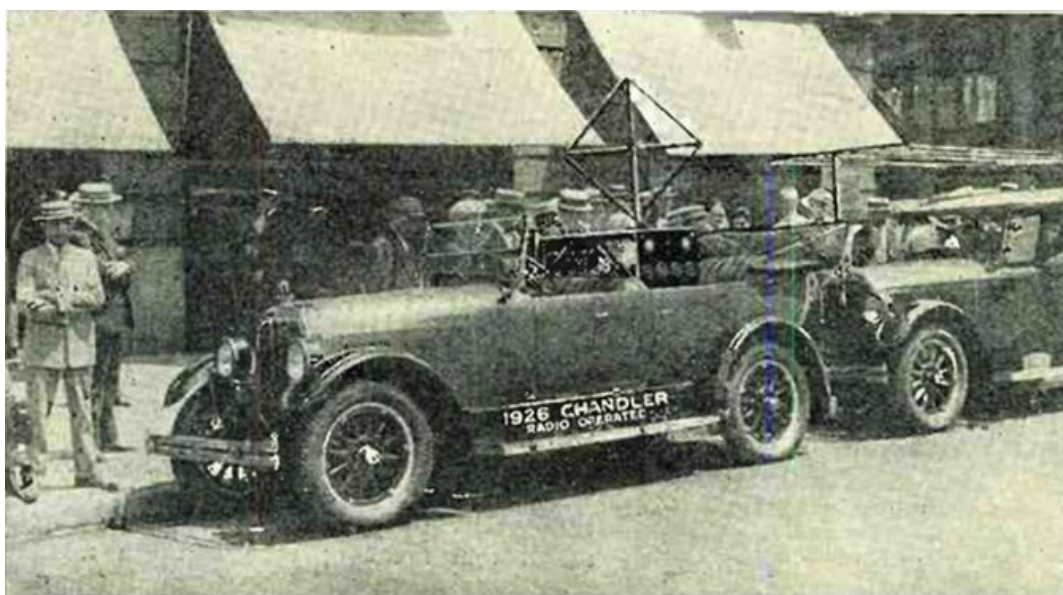
Poglavlje deset „Postignute razine autonomije osobnih vozila“ definira sve postignute do sada razine i sustave pojedinih razina te primjere za svaki od njih. Na samom kraju opisano je što se očekuje u skoroj budućnosti.

U završnom poglavlju nalazi se „Zaključak“ koji je donesen na temelju istraživanja i pisanja ovog rada. Nakon zaključnog dijela, navedena je sva literatura i popis slika korištenih tijekom pisanja ovog rada.

2. Pojam autonomije kroz povijest

Autonomna vozila su vozila kojima nije potrebno ljudsko upravljanje. Vozačeva kontrola nad volanom nije potrebna. Osoba može mirno, bez ikakve obaveze sjediti za volanom. Ovakvo vozilo funkcionira na način da prepoznaje okolinu u kojoj se nalazi, tako što koristi razne senzore za prepoznavanje okoline. To su: radar, lidar, GPS, računalni vid, ultrazvučni senzori itd. No, za početak je bitno spomenuti razliku između potpune i djelomične autonomije. Djelomično autonomna vozila u sebi imaju ugrađene sustave koji pomažu osobi za volanom. Tu navodimo promjenu prometne trake, automatsko kočenje i ubrzavanje. Bitna, ona glavna razlika djelomično autonomnog vozila i potpuno autonomnog vozila nalazi se u razini kontrole koju vozač prilikom vožnje ima. Kada vozač mora konstantno pratiti prometne uvjete i biti koncentriran na okolinu te bit spreman u svakom trenutku preuzeti kontrolu u svoje ruke, autonomija je djelomična.

Početak 1925. javlja se prvi korak prema autonomnim vozilima. Inovator i bivši vojni inženjer Francis Houdina izradio je radio kontrolirano vozilo Houdina Radio Control (Slika 1.). Houdina je svoje vozilo uputio odmah na prometne ceste New York Cityja i testnu vožnju završio bez incidenta. Autonomnim Houdina vozilom upravljano je radio signalima iz pratećeg vozila koje ga je slijedilo. [1]



Slika 1. Houdina Radio Control, izvor: [1]

Kao pionira dinamičnog računalnog vida i automobila bez vozača navodimo Ernsta Dietera Dickmansa, nekadašnjeg profesora aeronautike na Sveučilištu Bundeswehra u Münchenu. Tako navodimo da je povijest autonomnih vozila započela 1977. godine u Japanu vozilom tvrtke Tsukuba. [2]

Ernestova ekipa je početkom 80-ih godina preuredila Mercedesov kombi (slika 2.) tako da je bilo moguće kontrolirati upravljač, mjenjač i kočnice računalnim naredbama baziranim na procjeni slikovnih sekvenci u realnom vremenu dobivenih kamerom. Kako nije korišten GPS, a računala su bila mnogo sporija nego danas, za potrebe navigacije trebalo je razviti sofisticirane oblike računalne vizije, što je Dickmanns riješio „4- D pristupom“ koji je omogućio potpunu rekonstrukciju trodimenzionalnog prostora i vremena. Taj pristup tzv. dinamičke vizije se bazira na upotrebi Kalmanovog filtra kojeg je Dickmanns prvi primijenio s vizualnim sensorima. Rad profesora Dickmansa doživljava vrhunac sredinom 90-ih, kada je preuredio Mercedes-Benz S-klase. [2]

To je vozilo bilo opremljeno četirima crno-bijelim video-kamerama, milimetarskim radarom i osam mikroprocesora za rekognosciranje objekata i autonomno upravljanje. Na demonstraciji na pariškom autoputu dva su primjerka ovog modela odvozila više od tisuću kilometara u standardnom prometu na brzinama do 130 km/h poluautomatskom vožnjom s ljudskim intervencijama. Tom su prilikom demonstrirane mogućnosti poput promjene staze i automatskog prestizanja drugih automobila. Kako u to vrijeme u Njemačkoj nije bila ograničena brzina vozila na autoputu, to je poslužilo u svrhe druge demonstracije mogućnosti ovog vozila na putu od 1758 km od Münchena do Odensea u Danskoj. Tom prilikom 95 % vožnje bilo je autonomno, najduži autonomno odvoženi dio puta iznosio je 158 km, a najviša postignuta brzina bila je 175 km/h. [2]

Nakon ovoga prestaje suradnja minhenskog Sveučilišta Bundeswehra i stuttgartskog automobilskeg koncerna Daimler-Benz. U Daimler-Benzu nisu vjerovali u isplativost autonomne vožnje u komercijalnim modelima ispravno, smatrajući da je važan razlog iz kojeg ljudi kupuju automobile i sam užitek koji pruža upravljanje njime. [2]



Slika 2. Mercedesov kombi iz 80-ih, izvor: [2]

3. Razvoj autonomnih vozila

Glavni poticatelj razvoja autonomnih vozila je vojna industrija. 80-tih godina započeo je značajan razvoj već prije spomenutog Ernsta Dickmanna na Sveučilištu Bundeswehra u Münchenu. Razvoj autonomnih vozila kroz povijest može se prikazati kroz tri faze. [3]

Prva od njih bila je faza temeljnog istraživanja u kojoj su istraživački centri u suradnji s transportnim agencijama i automobilskim tvrtkama izrađivali jednostavne studije autonomnog prijevoza. Trajala je otprilike od 1980. godine do 2003. godine te su u tom periodu proizašla dva glavna tehnološka koncepta. Glavna vizija prvog tehnološkog koncepta bila je razvoj autonomnih sustava prilagođenih uvjetima na autocesti u kojima vozila najviše ovise o infrastrukturi autoceste koja im služi za usmjerenje. Drugi tehnološki koncept temeljen je na razvoju autonomnih vozila koja bi funkcionirala u djelomičnoj ovisnosti o infrastrukturi autoceste ili u potpunosti bez njene pomoći. [3]

Druga faza razvoja autonomnih vozila poznatija je pod nazivom „Faza velikih izazova“. Ova faza trajala je od 2003. godine do 2007. godine te se u njoj ističe Agencija za obrambene napredne istraživačke projekte američkog Ministarstva obrane (DARPA) kao temeljni pokretač tri „velika izazova“ koji svaki za sebe znatno unaprjeđuju tehnologiju autonomnih vozila. Glavni cilj navedenih izazova bio je istražiti mogućnost primjene autonomnih vozila u vojne svrhe. [3]

U zadnjoj, trećoj fazi, fokus je na komercijalnom razvoju te se zato ova faza još naziva „Faza komercijalnog razvoja“. Izazovi u prethodnoj fazi koje je potakla DARPA učvrstili su partnerstva između automobilske industrije i obrazovnog sektora. Također su pokrenuli brojne programe s ciljem unaprjeđenja tehnologije autonomnih vozila. Neki od najvažnijih programa koji se navode su: Autonomni kolaborativni istraživački laboratorij za vožnju („Autonomous Driving Collaborative Research Lab“), partnerstvo između General Motors-a i Sveučilišta Carnegie Mellon te partnerstvo između Volkswagena i Sveučilišta Stanford. Udruga automobilskih inženjera - SAE International („Society of Automotive Engineers“) 2014. godine objavila je klasifikaciju autonomnih vozila u šest razina koju su ažurirali 2016. godine, („SAE international, 2016.“). Ta se klasifikacija temelji na količini potrebne pažnje i intervencije od strane vozača prilikom vožnje. [3]

4. Razine autonomnosti

U današnje vrijeme može se reći kako su ljudi još uvijek vrlo skeptični i ne žele se prepustiti potpunoj računalnoj kontroli nad vozilom. Već spomenuto, u literaturi postoji šest razina autonomnosti, ljestvica od nula do pet. Nula označava vozilo koje je u potpunoj kontroli čovjeka kao vozača, a pet označava potpuno autonomno vozilo, kojim upravlja računalo. Organizacija za standarde, „Society of Automotive Engineers“ (SEA) definirala je ove razine autonomnosti u svom izvješću „Taxonomies and definitions“ u vezi s automatiziranim pogonskim sustavima. Postoje i mnoge druge organizacije sa sličnim standardima uključujući „German Federal Highway Research Institute“ (BASt) i „National Highway Traffic Safety Administration“ (NHTSA). [4]

4.1. Nulta razina

Vozila nekada čak nisu imala ni servo-upravljač niti pogonske kočnice. Kada govorimo o nultoj razini, svi aspekti vožnje su u rukama vozača. To su vozila koja se oslanjaju na čovjeka koji diktira svaku funkciju vožnje te vozač ima potpunu kontrolu nad volanom.

4.2. Prva razina

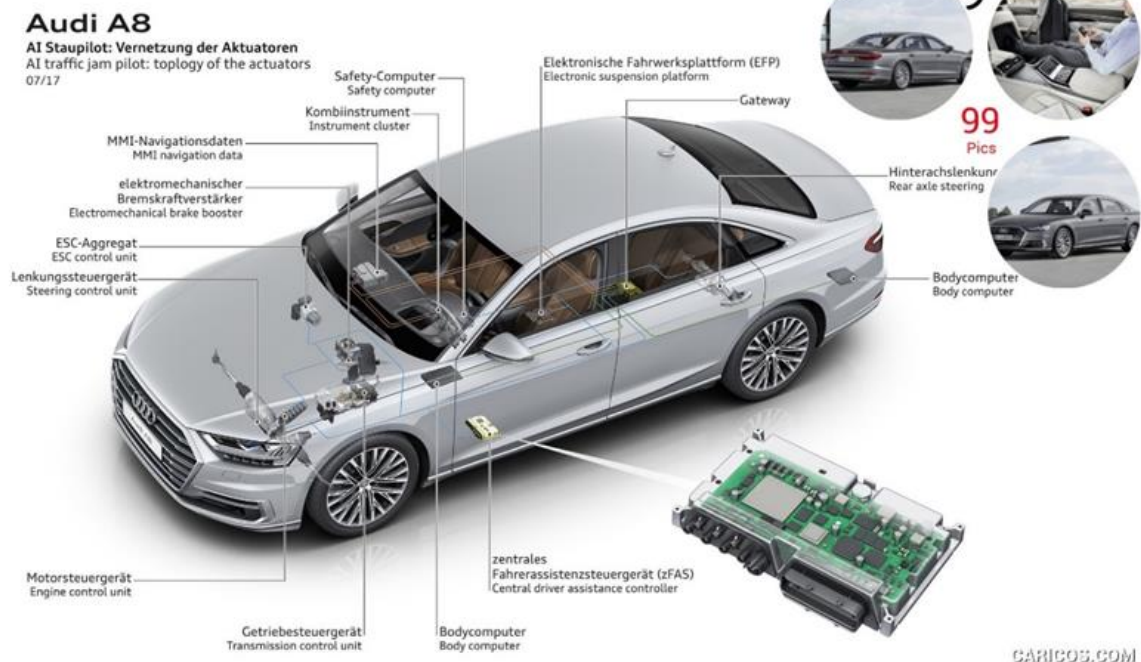
Ova razina posjeduje sustave upravljanja vozilom koji pružaju pomoć vozaču za volanom. Vozilo će na ovoj razini pomoći pri ubrzavanju ili usporavanju samog vozila te održavanu stalne brzine, ovisno o okolnostima na cesti. No, ovakva funkcija nije automatska, već ju vozač mora uključiti. U današnje vrijeme, u ovu razinu pripada većina modernijih osobnih vozila koja uz sebe imaju funkcije upozorenja prilikom napuštanja prometne trake te takva vozila posjeduju prilagodljivi tempomat.

4.3. Druga razina

Ovu razinu autonomije karakterizira rad dviju ili više funkcija zajedno, smanjujući potpunu ljudsku kontrolu nad vozilom. Kao primjer ove razine navodi se sustav s prilagodljivim tempomatom i automatskim kočenjem u nuždi. Tu je još uvijek potrebna potpuna vozačeva uključenosti u vožnju, ali se polako primjećuje prenošenje kontrole na stroj, odnosno računalo. Riječ je o naprednom sustavu pomoći vozaču (ADAS). Konkretni primjer druge razine uključuje Teslin Autopilot i General Motors Super Cruise.

4.4. Treća razina

Kada vozilo prijeđe na razinu na kojoj će samo izvršavati upravljanje, ubrzavanje, usporavanje i praćenje okoline, vozilo tada pripada trećoj razini autonomije. Na ovoj razini vozač je još uvijek potreban. Od ove razine, vozila se svrstavaju u automatizirane sustave vožnje (ADS) ili nazivom, visoko automatizirana vozila (HAV). Ovu razinu nazivamo uvjetnom automatizacijom. Vidi se veliki skok sposobnosti vozila sa prethodne, druge razine na treću. Vozilo ove razine može samostalno upravljati na određenim dionicama, najčešće autocestama, no vozač uvijek mora biti spreman preuzeti kontrolu u slučaju javljanja problema. Kao primjer ove razine navodimo vozilo Audi A8 opremljeno sustavom *Al traffic jam pilot*. (slika 3.)



Slika 3. Primjer vozila treće razine, Audi A8, izvor: [5]

4.5. Četvrta razina

Ova razina pripada visokoj automatizaciji te čovjek ovdje nije potreban. Vožnja je u potpunosti prepuštena upravljanju samog vozila, a čovjek po potrebi može preuzeti kontrolu. Četvrta razina znači da vozilo može obavljati sve funkcije vožnje pod određenim uvjetima.

Za sada, to su testna vozila koja se trenutno na cestama testiraju. Konkretni primjer ove razine bio bi Googleov projekt (slika 4.) autonomnog vozila, Waymo LLC. U članku „DesignNewsa“ tvrde kako se na četvrtu razinu došlo već 2018. godine te se time napravio veliki korak unaprijed za autonomna vozila.



Slika 4. Primjer vozila četvrte razine, Googleov projekt Waymo LLC, izvor: [6]

4.6. Peta razina

Peta razina predstavlja potpunu autonomiju vozila, što bi značilo da ne zahtijeva nikakvu prisutnost vozača. Ovakva vozila uključuju zadaće u smjeru operativnih i taktičkih aspekata. Operativne zadaće kao što su upravljanje, usporavanje, kočenje, ubrzavanje i nadzor. Taktički aspekti podrazumijevaju promjenu traka, skretanja, čitanje prometnih znakova i njihovo poštivanje, mogućnost reakcije na nenadane situacije poput sudara i sl. Čovjekov zadatak ove razine bio bi samo odrediti svoje odredište i eventualno zaustavne točke na svome putu.

5. Upravljački sustavi autonomnih vozila

Arhitektura upravljačkog sustava autonomnih vozila petog stupnja autonomnosti, prema SAE klasifikaciji, definirana je i podijeljena na četiri segmenta; senzorske sustave, klijentske sustave, akcijske sustave i korisničke sustave. [7]

Autonomna vozila temelje se na naprednim sensorima, koji prikupljaju informacije o okolini, na dubokim višeslojnim neuronskim mrežama i dubokom učenju (engl. Deep Learning), koji se koriste za raspoznavanje prometnica, vozila, objekata i osoba, iz podataka prikupljenih od senzora te za upravljanje vozilom. Dakako, sve to uz veliku računalnu snagu, koja obrađuje informacije i pretvara ih u djelotvorne naredbe, u realnom vremenu. Skupovi senzora na autonomnim vozilima (kamere, lidari, radari...) nadopunjuju jedni druge i nadoknađuju sve slabosti bilo kojeg korištenog senzora. Iako su robotski sustavi, u koje se ubrajaju i autonomna vozila, vrlo uspješni u prikupljanju podataka o okolini, razumijevanje tih podataka ostaje vjerojatno najteži dio razvoja iznimno pouzdanog autonomnog vozila. Temelj većine robotskih sustava, pa tako i autonomnih vozila, zasniva se na načelu “osjeti – planiraj – djeluj” pa tako vozilo najprije skupom senzorskih sustava kojima je opremljeno, prikuplja podatke o vanjskom svijetu i vlastitoj okolini. [7]

Vozilo naprednim algoritmima obrađuje prikupljene podatke i prema tome izrađuje planove o odlukama koje treba donijeti. Na temelju izrađenog plana djelovanja, plan se pretvara u djelotvorne naredbe za upravljački sustav vozila. Navedene naredbe mogu biti vezane za upravljač, kočnice, tempomat ili sličan sustav, a istodobno se može izvršavati više petlji u “osjeti – planiraj – djeluj” principu. Jedna petlja može pokrenuti ubrzanje ili kočenje u nuždi, dok se druga petlja izvodi rjeđe, a planira i izvršava složenije zadatke, kao što je promjena trake kolnika. Postoje i ekstremno kratke aktivnosti planiranja, poput incidentnih situacija, kada prikupljeni podaci iz senzora ukažu da je prepreka na maloj udaljenosti ispred vozila. U tom trenutku, automatski se mora pokrenuti kočenje u nuždi. U takvim kritičnim situacijama planiranje u petlji iz načela “osjeti – planiraj – djeluj” pretvara se u načelo “osjeti – djeluj”. U ovom slučaju podaci iz senzora izravno pokreću naredbe za djelovanje automobila. Incidentne situacije, poput reakcije na iznenadne pojave pješaka na kolniku, spadaju među najveće izazove koji se pojavljuju ispred autonomnih vozila. [7]

Izvršna percepcija okoline koju senzori detektiraju i iz nje prikupljaju podatke, uz sofisticirane algoritme umjetne inteligencije koja ih tumači, dopuštaju autonomnim vozilima

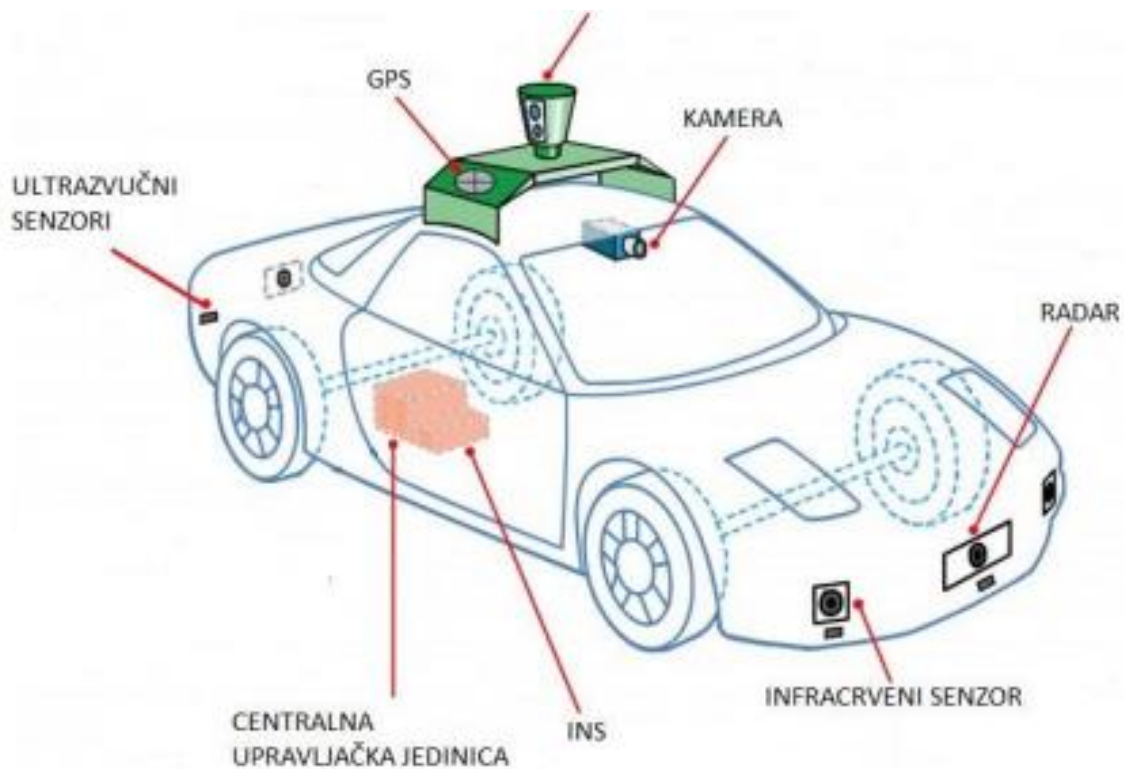
kvalitetno planiranje i visoku pouzdanost vožnje. Sama ideja razvoja autonomnih vozila temelji se na činjenicama da se takva vozila nikad ne umaraju, kako njihovi algoritmi planiranja mogu izabrati optimalno ponašanje u prometu te njihovo izvršavanje može biti brzo i besprijekorno, jer im se ni u jednoj situaciji ne povećava vrijeme reagiranja, niti mogu pogriješiti u izvršavanju naredbe kao vozač. Ljudski vid prikuplja sve podatke koje autonomnom vozilu pružaju skupovi senzora. Ljudske kognitivne sposobnosti značajno nadilaze sposobnosti autonomnih vozila. Ljudi također puno bolje tumače i razumijevaju dobivene vizualne informacije. Pa ipak, ljudski vid i percepcija vizualnih informacija mogu biti ograničeni u određenim situacijama, poput nepovoljnih vanjskih uvjeta, umora, neuroloških problema, ili pod utjecajem različitih opijata.

[7]

6. Tehnologija rada osobnih autonomnih vozila

Da bi se vozilo kretalo autonomno potrebna je visoka senzorska tehnologija. Sustav senzora (slika 5.) služi za prikupljanje svih potrebnih podataka koji se koriste za daljnje izračune. Tu bi pripadala: navigacija vozila, stvaranje ruta, prostorna udaljenost (prepreke) i dr. Sustav senzora dijeli se u dvije grupe:

1. Sensori kratkog dometa: ultrazvučni, infracrveni ili kapacitivni senzori.
2. Sensori srednjeg/dugog dometa: Radar, Lidar, GPS te računalni vid [8]



Slika 5. Sustav senzora prikazan na autonomnom vozilu, izvor: [3]

6.1. Sensori kratkog dometa

Ultrazvučni senzori pružaju precizne podatke kratkog dometa, za razliku od infracrvenih senzorskih sustava koji će otkrivati oznake traka bez osvjjetljenja te pješake u noćnim uvjetima.

Zadatak ultrazvučnih senzora je detektiranje i određivanje udaljenosti od nekog objekta. Određivanje udaljenosti od nekog objekta vrši se preko vremena od kada se zvuk, odnosno signal, odaslao prema objektu do trenutka kada se signal vratio u senzor. Ultrazvučni senzori sastoje se od ultrazvučnog primopredajnika, pojačivača i uređaja za formiranje izlaznog signala. Zadatak primopredajnika je formiranje ultrazvučnog vala, nakon čega prima odbijeni zvuk odnosno jeku od pogođenog objekta. Uređaj za formiranje izlaznog signala izračunava vrijeme, od kada se zvuk emitirao i vratio kao jeka, preko poznate brzine kretanja ultrazvučnog signala kroz zrak te se tako dobiva udaljenost od objekta. Kod motornih vozila, ovakav tip senzora koristi se kod senzora za parkiranje gdje zvučni signal indicira koliko smo blizu ili daleko od objekta/prepreke. Namijenjeni su za sva motorna vozila i mogu biti ugrađena na prednjoj, bočnoj ili zadnjoj strani vozila. [8]

Glavna zadaća ovih senzora je olakšati parkiranje na mjestima gdje je ono teže izvedivo, gdje postoji mogućnost da ćemo oštetiti svoje ili tuđe vozilo. Funkcioniraju na način da vozača obavještavaju koliko je udaljen od zida, odnosno neke prepreke. Što se više približavamo prepreci to će se broj zvukova intenzivnije povećavati.

Ultrazvučni parking sustav temelji se na korištenju senzora ugrađenih u branicima koji su strateški raspoređeni kako bi pokrili širok prostor. Ovi senzori se postavljaju na stražnji odbojnik i po želji na prednjoj strani, a upravljaju kontrolnom jedinicom. Sustav se automatski aktivira pri uključivanju stupnja prijenosa za vožnju unatrag, senzori se aktiviraju i emitiraju ultrazvučni puls koji putuje kroz zrak. Ako postoji prepreka, ultrazvučni puls će se odbiti od njega i vratiti se na senzor koji će detektirati impuls i obavijestiti upravljačku jedinicu. Upravljačka jedinica izračunava udaljenost od prepreke na temelju vremena proteklog između emisije i prijema impulsa. Maksimalna udaljenost detekcije iznosi približno 0,8 do 1 metar. Ukoliko vozač ne želi koristiti pomoć pri parkiranju, postoji prekidač za omogućavanje ili onemogućavanje ultrazvučnog parkirnog sustava. To se nalazi u kabini, uglavnom u središtu ploče s instrumentima ili na središnjoj konzoli. [9]

Vozila koja pak posjedujući infracrvene senzore, točnije infracrvene kamere za noćni vid, (slika 6.) povećavaju osobnu sigurnost i sigurnost putnika u vozilu, što dakako rezultira manji broj nesreća. Način na koji infracrvene kamere za noćni vid funkcioniraju može biti aktivnog i pasivnog oblika. Svaki od tih sustava ima svoje prednosti i mane. Pasivni sustav odnosi se na način registriranja toplinskog zračenja koje emitiraju ljudi, životinje i drugi objekti na cesti, dok

je aktivnim sustavima zadatak da osvjetljavaju predmete na udaljenosti pomoću infracrvenih izvora svjetlosti. [10]

Na slici (Slika 6.) pomoću infracrvene kamere vidimo prikaz noćnog vida koji je pokrenut na monitoru ploče. Opcije prikaza noćnog vida razlikuju se ovisno o vozilu te tako može biti pokrenuta na navigacijskom monitoru ili na displeju vjetrobranskog stakla (engl. head – up display). Koristeći ovaj sustav, vrijeme reakcije i ranijeg registriranja objekata, životinja i ljudi biti će brže. Isto tako, vidljivost svakog zavoja ili raznih prepreka na cesti mnogo je bolja. Rizik od nesreća smanjuje se na način da se sve uoči na vrijeme, te tako ljudi vrlo lako mogu nositi tamniju odjeću gdje bi svejedno vozilo dobilo upozorenje da uspori ili da se zaustavi. [10]



Slika 6. Infracrvena kamera za noćni vid u vozilu, izvor: [10]

6.2. Senzori dugog dometa

Percepcija je sposobnost vozila da razumije svoju okolinu i za nju se najčešće koriste sustav: Lidar, Radar i GPS. Lidar sustavi (Light Detection and Ranging) određuju udaljenosti do

prepreka pomoću lasera, koji emitiraju svjetlosne zrake i izračunavaju vrijeme dok se ne vrati refleksija od objekata u okolini. Nedostatak im je što su manje korisni na velikim dometima i loša im je refleksija na određenim materijalima. Za razliku od ovog sustava, Radar sustav (Radio Detecting and Ranging) koristi radio valove. Oni dobro percipiraju metalne objekte, ali mnogi nemetalni objekti za njih su nevidljivi. Za percepciju se koriste i kamerama koje se koriste za razumijevanje osnovnih značajki okoline poput oznaka traka, prometnih znakova, semafora.

Kamere su jeftine, ali algoritmi koji obrađuju primljene podatke još uvijek nisu sofisticirani kao ljudi pri tumačenju vizualnih podataka. Autonomna vozila također koriste sustave senzora za lokalizaciju, to jest određivanje vlastitog položaja. Za nju je ključno korištenje globalnog navigacijskog sustava pozicioniranja (GPS). [3]

6.2.1. Radar

Radar možemo definirati kao uređaj za detekciju ili mjerenje udaljenosti nekog objekta pomoću radiovalova. Ako prilikom slanja elektromagnetskih valova ovaj senzor naiđe na prepreku, elektromagnetski val reflektirat će se od iste natrag i dat informaciju koliko je prepreka udaljena od radara i koliko brzo se ona kreće pa tako radar u vozilu može u stvarnom vremenu pratiti brzine drugih vozila koja ga okružuju. [11]

Za otkrivanje objekata i prepreka na velikim udaljenostima, kao i za praćenje brzine i smjera različitih sudionika prometa u okolišu autonomnih vozila, poput pješaka, drugih vozila, zaštitnih metalnih ograda, stupića uz kolnik i sličnog, radar će koristiti frekvencije milimetarskih valova. Za svoj rad koristi radiovalove kojima je zadatak dobra percepcija, te tako lako percipiraju metalne objekte, dok su objekti od ostalih materijala za njih nevidljivi. U autonomnom vozilu, radari su postavljeni tako da prekrivaju prednje područje vozila. Radari šalju ultrakratke elektromagnetske valove, koji se reflektiraju od krute površine (primjerice, stražnjeg dijela vozila iza kojeg se kreće autonomno vozilo). Nakon što radar zaprimi reflektirani signal, on dobije informaciju koliko je objekt (ili prepreka) udaljen od radara i koliko se brzo kreće te time dobiva uvid u brzine kretanja drugih vozila koja ga okružuju u stvarnom vremenu. Radar može snimiti i tijekom prometa u dubinu, odnosno percipirati kolonu vozila, točnije sve objekte od kojih se elektromagnetski valovi odbijaju. [7]

Uređaj je prisutan od 1904. godine, patentirao ga je njemački izumitelj Christian Huelsmeyer. Mogao je otkriti brodove udaljene i do 3.000 metara. Početni dizajn je samo ukazivao na

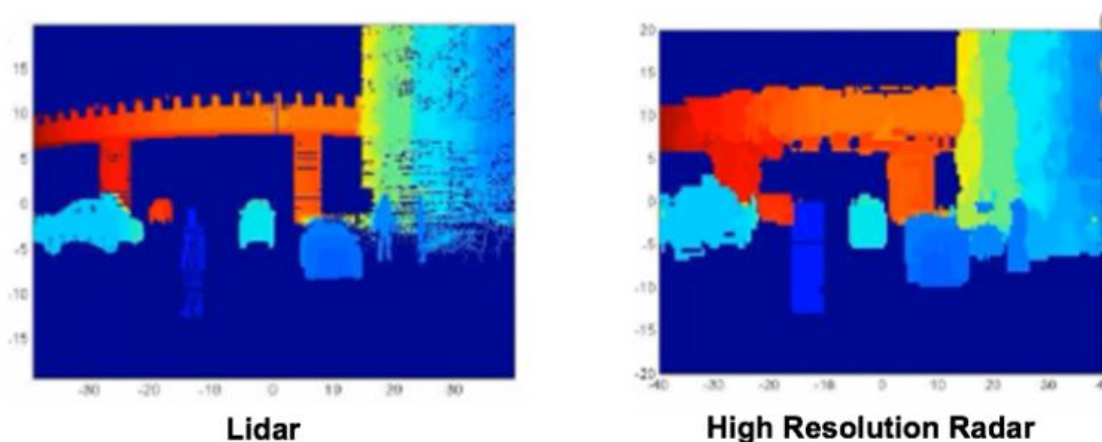
prisutnost ciljanog objekta, a kasnije verzije su mogle odrediti domet pomoću jednostavnog geometrijskog izračuna. Danas se radar koristi za izračunavanje brzine, raspona i kuta objekata na kopnu, moru i zraku. [12]

Ovaj sustav jako je važan kod autonomnih vozila zato što igra ključnu ulogu naprednih sustava za pomoć vozačima (ADAS). Posebno je koristan kod dvije ADAS tehnologije: automatskom sustavu za kočenje u nuždi (AEBS) i adaptivnom tempomatu (ACC). Ove tehnologije koriste radare velikog dometa s rasponom od 80 do 200 metara, u nekim slučajevima čak i više od 200 metara. [12]

6.2.2. Lidar

Lidar je skraćenica od engleskih riječi „Light Detection And Ranging“ i koristi se u robotici za detektiranje objekata, kao i za opažanje životne okoline. To su sustavi koji koriste lasersku svjetlost i šalju impulse van vidljivog spektra da vi se otkrila udaljenost nekog objekta. Ovakvi sustavi imaju visoku preciznost pri prepoznavanju udaljenih predmeta, a kada prepoznaju neki objekt stvaraju detaljnu 3D mapu terena koja omogućava vozilu da primijeti razliku između automobila, kamiona, bicikla, itd. [11]

Lidar i Radar se jasno razlikuju, a razlika (slika 7.) je u tome što Lidar koristi laserske signale, koji mjere količinu vremena potrebnu da se impuls vrati, dok radar koristi radiovalove. Međutim, radiovalovi manje upijaju kada kontaktiraju objekte, u odnosu na svjetlosne valove.



Slika 7. Razlika između Lidara i Radara, izvor: [13]

6.2.3. GPS

Globalni položajni sustav (GPS) je satelitski navigacijski sustav koji se sastoji od najmanje 24 satelita. Radi u svim vremenskim uvjetima, bilo gdje u svijetu, 24 sata na dan. Sateliti kruže Zemljom dva puta dnevno, preciznom orbitom. Svaki satelit prenosi jedinstveni signal i orbitalne parametre koji omogućuju GPS uređajima detektirati i izračunati točnu lokaciju satelita. GPS prijammnici koriste ove informacije za izračunavanje točne lokacije korisnika. S mjerenjem udaljenosti od još nekoliko satelita, prijammnik može odrediti točan položaj korisnika kako bi izračunao rutu trčanja, pronašao put kući, izmjerio udaljenost od bilo kojeg mjesta. [14]

GPS sve više postaje uobičajeno pomagalo i u automobilu. Postoje različiti sustavi. Najjednostavniji omogućuju pozivanje pomoći u slučaju hitne potrebe na cesti šaljući trenutni položaj u dispečerski centar. Sofisticiraniji sustavi mogu pokazati položaj vozila na elektroničkoj karti dajući vozačima mogućnost da obilježe svoje položaje i potraže neku adresu, npr. ulicu, restoran, hotel ili neko drugo odredište. Neki sustavi mogu čak automatski kreirati trasu (rutu) i davati upute za svako skretanje do traženog položaja. [15]

GPS prijammnici omogućuju kretanje vozila bez ljudskog inputa. Kada se integriraju u druge tehnike, kao što su laserska svjetlost, radar i računalni vid, robotski automobili mogu automatski osjetiti, pohraniti i dohvatiti podatke o okolini. Mnoge od ovih tehnika već su u upotrebi među vrhunskim modelima.

Za autonomna vozila, međutim, potrebne su snažnije tehnike koje mogu ispuniti određene zadatke umjesto čovjeka, poput parkiranja, razlikovanja prometnih znakova i prepoznavanja različitih vozila na cesti. Osim današnjih sustava za pomoć vozačima, napredni GPS uređaju mogu pružiti 3D karte ulica visoke razlučivosti i pružiti kartiranje zemljopisnih terena u velikim razmjerima. [16]

7. Prednosti osobnih autonomnih vozila

- 1) Kako vozač više ne bi bio potreban, automobil bi služio kao kabina za odmaranje; budući da u vozilu ne bi trebale postojati kontrole, bilo bi više mjesta i osobe ne bi trebale gledati kuda se vozilo kreće
- 2) Vozač ne bi trebao više biti koncentriran na vožnju, u vozilu može biti instalirana zabavna tehnologija, kao što je igranje igrice
- 3) Umor od vožnje i gubljenje koncentracije bili bi stvar prošlosti, putnici bi mogli putovati preko noći i spavati cijelo vrijeme
- 4) Velika većina automobilskih nesreća uzrokovana je vozačevom nepažnjom pa bi primjena autonomnih vozila značila manje prometnih nesreća i manje grešaka na cestama, a vozači pod utjecajem alkohola i droga, bili bi stvar prošlosti, ujedno svi putnici u vozilu mogli bi spavati prilikom vožnje, jer vozač više ne bi trebao biti koncentriran na vožnju
- 5) Automobili bez vozača poštivat će svako pravilo i postavljeno ograničenje brzine, čineći ceste sigurnijima za sve nas
- 6) Promet bi se mogao lakše koordinirati u urbanim područjima kako bi se spriječila uska grla i gužve u prometu; time bi se vrijeme putovanja na posao drastično smanjilo
- 7) Više ne bi trebali znati gdje idemo, ni bojati se da se ne izgubimo, nakon unosa adrese u sustav, autonomno vozilo samo navigira i vozi do zadane lokacije
- 8) Autonomna vozila predviđaju situaciju i spremna su na neočekivane postupke sudionika u prometu, vide dalje od ljudi, primjećuju okolinu bolje, ne smeta im loša vidljivost i detektiraju manje smetnje koje mogu naštetiti vozilu, a koje čovjek niti ne primjećuje
- 9) Senzorna tehnologija potencijalno bi mogla percipirati okolinu bolje od ljudi, otkrivajući manje prepreke koje ljudi inače ne bi percipirali

- 10) Ako automatiziramo sva vozila na cestama, sa sigurnošću možemo povećati ograničenje brzine vožnje kako bismo brže došli do odredišta
- 11) Zahtjevne radnje i parkiranja više neće biti stresni i više nećemo trebati posebne vještine za upravljanje vozilom
- 12) Parkiranje može postati potpuno automatizirano bez potrebe za vožnjom uokolo tražeći mjesta. Automobil vas može čak i jednostavno ostaviti, a zatim se sam parkirati i vratiti kada se to zatraži
- 13) Ovi automobili izrazito bi pomogli osobama s invaliditetom, a kako oni ne mogu polagati vozački ispit, na ovaj način bi se mogli susresti sa samostalnom vožnjom
- 14) Više ne bi bilo potrebe polagati vozačke ispite i posjedovati vozačku dozvolu, koja financijski može biti vrlo skupa
- 15) Kako ne bi bilo toliko puno prometnih nesreća, osiguravajuće kuće bi morale spustiti cijene osiguranja vozila
- 16) Gorivo bi se uštedilo, a samim time i zagađenje okoliša bilo bi manje
- 17) Autonomna vozila su vrlo svjesna vozila i mogla bi dovesti do smanjenja krađa [18]

8. Nedostaci osobnih autonomnih vozila

- 1) Ova vozila su vrlo skupa, financijski nedostižna vrlo velikom broju građana
- 2) Kada ova tehnologija zaživi, mnogobrojni vozači taksija, vozači kamiona i ostali dostavljači, mogli bi izgubiti svoj posao
- 3) Vrlo mali računalni kvar mogao bi izazvati ogromne štete, financijske pa čak i smrt
- 4) Kada bi ovakvo vozilo izazvalo prometnu nesreću, postavilo bi se pitanje: „Tko će zapravo biti krivac, osoba koja sjedi za volanom ili osoba koja je dizajnirala softver?“ Ova vozila će zasigurno pokrenuti mnogobrojna pitanja o moralnoj, etičkoj i financijskoj odgovornosti
- 5) Autonomna vozila oslanjaju se na korisničku lokaciju i njegove inpute, što može stvoriti velike probleme s privatnošću
- 6) Hakeri bi mogli ući u softver vozila, kontrolirati ili utjecati na rad autonomnih vozila te dovesti do velikih problema
- 7) Autonomna vozila suočena su s poteškoćama prilikom lošeg vremena. Jaka kiša ometa laserske senzore postavljene na krovu, dok snijeg može ometati kamere
- 8) Čitanje prometnih znakova je izazov za robota. GPS i druge tehnologije možda neće registrirati prepreke kao što su novonastale rupe ili bilo kakva oštećenja na cesti, nedavne promjene u uvjetima na cestama i na novo objavljene znakove
- 9) Kako će se vozači sve više privikavati da ne voze, njihova stručnost i iskustvo će se smanjiti. Ako će trebati voziti u nekim izvanrednim situacijama, moglo bi doći do problema
- 10) Cestovni sustav i njegova infrastruktura trebat će velike nadogradnje za autonomna vozila, odnosno biti će potrebna velika prilagodba. Kao na primjer, više uličnih rasvjeta

- 11) Ljudsko ponašanje, odnosno signali rukom su teški za raspoznavanje računala. Situacije u kojima se vozač mora nositi s nepredvidljivim ljudskim ponašanjem ili komunicirati s drugim vozačima, nemogući su za računalo

- 12) Policija ne može stupiti u interakciju s vozilima bez vozača, osobito u slučaju nesreća ili zločina [17]

9. Istraživanja

Postavilo se pitanje „Što je sigurnije: automobili bez vozača ili oni kojima upravljaju ljudi?“ Prema podacima iz izvješća „Instituta za istraživanje transporta“ Sveučilišta u Michiganu, koji je usporedio sve dostupne podatke o svim sudarima samovozećih automobila sa statistikom koja uključuje one koje upravljaju ljudi, vozila bez vozača susreću se s više sudara, ali ti su sudari manje ozbiljni od onih uzrokovanih konvencionalnim vozilima. Istraživanje je pokazalo:

- da su vozila bez vozača imala više sudara : 9,1 sudara na milijun prijeđenih milja (u usporedbi s 4,1 sudara na milijun milja za vozila koja je upravljao čovjek).
- Automobili bez vozača imali su višu stopu ozljeda, ali te ozljede nisu bile tako teške kao one u konvencionalnim vozilima : automobili bez vozača imali su 0,36 ozljeda po sudaru (u usporedbi s 0,25 za konvencionalna vozila). Međutim, te su ozljede bile manje u usporedbi s onima u sudarima konvencionalnih vozila.
- Međutim, vozila bez vozača najčešće ne bi bila odgovorna za nesreću
- U incidentima koje su vidjeli, automobili bez vozača također nikada nisu udarili bicikliste ili pješake, nešto što su vozila na ljudski pogon često činila.
- Više od 80% automobilskih nesreća u SAD-u uzrokovano je pogreškom vozača. [18]

Kroz ostala razna istraživanja, dolazimo do saznanja da su ljudi još uvijek dosta sumnjičavi kada je u pitanju prijevoz autonomnim vozilom. Glavni problemi koji se javljaju oko ovakvih razmišljanja su nesigurnost i pouzdanost u autonomiju. Kada bi se gradila prometna mreža ili radilo na poboljšanju mobilnosti ljudi, prvi prioritet bi svakako bila sigurnost u prometnome sustavu. Uz nesigurnost koja se javlja u ljudima oko autonomije, najviše se javlja zabrinutost oko kvara sustava ili neke opreme. Isto tako, velika zabrinutost pokazala se oko pitanja hakerstva i pravne odgovornosti te ljudske privatnosti.

10. Postignute razine autonomije osobnih vozila

Mnoge su se tvrtke s vremenom posvetile razvoju autonomnih vozila. Već spomenuta 1939.godina kada je autonoman automobil predstavljen na sajmu General Motorsa, njime je upravljao električni krug. 1980. DARPA je lansirala automobil kontroliran radarom, laserom i umjetnim vidom. Mercedes-Benz je iste godine također stvorio jedan kontroliran računalnim vidom, a zatim je 1995. usavršio jedan od svojih automobila vođen računalnim vidom i računalom. Audi je 2014. lansirao bespilotni automobil pod nazivom autonomni RS7, a sljedeće godine Audi SQ5 je bilo samovozeće vozilo kojeg je kontrolirao sustav autonomne vožnje. Google je 2015. također objavio 25 samovozećih automobila koji su bili kontrolirani navigacijskim softverom. [19] Najpoznatije autonomne automobile današnjice razvija tvrtka Tesla. Uz Teslu važni su proizvođači poput Mercedesa, Forda Audia, BMW-a i Nissana. [19] Neki od primjera modela automobila koji su autonomni na sljedećim razinama:

- Volkswagen Polo (razina 1)
- Nissan Qashqai s ProPilotom (razina 2)
- Tesla Model S (razina 3)
- Googleov prototip samovozećeg automobila (razina 4) [19]

10.1. Sustavi razine 2

Današnji automobili uglavnom su opremljeni sustavima koji odgovaraju razini 2, a najpoznatiji proizvođač je Tesla sa svojim vozilima, Model S (Slika 8.) , Model X (Slika 9.), Model Y (Slika 10.) i Model 3 (Slika 11.), te General Motors s poluautonomnom značajkom vožnje autocestom pod nazivom Super Cruise, dostupnom na novom Cadillacu CT6 (Slika 12.). [21]



Slika 8. Tesla model S, izvor: [22]



Slika 9. Tesla model X, izvor: [23]



Slika 10. Tesla model Y, izvor: [24]



Slika 11. Tesla model 3, izvor: [25]



Slika 12. Cadillac CT6, izvor: [26]

Svi novi automobili Tesla u standardnoj opremi dolaze s naprednim hardverom koji trenutno omogućuje značajke Autopilota, dok će u budućnosti omogućiti potpuno samostalnu vožnju putem softverskih ažuriranja koja su posebno osmišljena da s vremenom poboljšaju funkcionalnost. Napredne značajke sigurnosti i jednostavnosti upotrebe Autopilota osmišljene su kako bi pomogle u najtežim dijelovima vožnje. Autopilot donosi nove značajke i poboljšava postojeće funkcije kako bi automobil Tesla s vremenom postao još sigurniji i sposobniji. Autopilot omogućava automatsko upravljanje, ubrzavanje i kočenje vozila unutar svoje trake.

Trenutačne značajke Autopilota zahtijevaju aktivni nadzor vozača i ne čine automobil autonomnim. [27]

10.1.1. Autopilot

Autopilot je napredni sustav za pomoć vozaču na cesti koji poboljšava sigurnost i praktičnost za upravljačem. Autopilot je u osnovnoj opremi za svako novo vozilo Tesla. Tesli donosi novu funkcionalnost koja vožnju čini sigurnijom i manje stresnom. Dostupni paketi uključuju: automatski pilot, poboljšani autopilot te potpunu sposobnost samostalne vožnje. [28]

a) Autopilot uključuje sljedeće funkcije i značajke:

- Tempomat koji se prilagođava prometu: Usklađuje brzinu vašeg automobila s brzinom okolnog prometa.
- Automatsko upravljanje: Pomaže u upravljanju unutar jasno označene trake i koristi tempomat koji se prilagođava prometu. [28]

b) Poboljšani autopilot uključuje:

- Navigaciju autopilotom: Aktivno vodi vaš automobil od rampe na autocesti do izlazne rampe, uključujući predlaganje promjena trake, navigaciju međuprostorima, automatsko uključivanje pokazivača smjera i ispravljanje izlaza.
- Automatsku promjenu trake: Pomaže u prelasku na susjednu traku na autocesti kada je uključeno automatsko upravljanje.
- Autopark: Pomaže automatski paralelno ili okomito parkirati vaš automobil jednim dodirrom.
- Poziv: premješta vaš automobil u i iz uskog prostora pomoću mobilne aplikacije ili ključa.
- Pametni poziv: Vaš će se automobil kretati složenijim okruženjima i parkirnim mjestima, manevrirajući oko objekata po potrebi kako bi vas pronašao na parkiralištu. [28]

c) Osim funkcionalnosti i značajki autopilota i poboljšanog autopilota, potpuna sposobnost samostalne vožnje uključuje i:

- Kontrolu prometnih i stop znakova (Beta): identificira znakove zaustavljanja i semafore i automatski usporava vaš automobil na prilazu, uz vaš aktivni nadzor
- Nadolazeće: Autosteer na gradskim ulicama [28]

Trenutno omogućene značajke autopilota, poboljšanog autopilota i potpune samovozeće vožnje zahtijevaju aktivan nadzor vozača i ne čine vozilo autonomnim. Potpuna autonomija ovisit će o postizanju pouzdanosti koja je daleko veća od ljudskih vozača, što pokazuju milijarde kilometara iskustva, kao i regulatorno odobrenje. Kako se Tesline mogućnosti autopilota, poboljšanog autopilota i potpune samovozeće vožnje razvijaju, tako će se automobil kontinuirano nadograđivati bežičnim ažuriranjima softvera. [28]

10.1.2. Super Cruise

Nadalje, spomenuti General Motors s poluautonomnom značajkom vožnje autocestom pod nazivom Super Cruise. Super Cruise je „hands-free“ tehnologija koja pomaže vozaču pri upravljanju vozilom. Ona koristi napredne tehnologije kako bi pružila jednostavnost i praktičnost vožnje bez upotrebe ruku. Super Cruise ne obavlja sve aspekte vožnje niti čini sve što vozač može učiniti. Omogućuje vozaču vožnju bez upotrebe ruku kada odgovarajući uvjeti vožnje na cesti to dopuštaju ali vozač i dalje mora pomno paziti na cestu. Super Cruise dostupan je samo na cestama koje su odvojene od suprotnog prometa te se nikada ne smije koristiti u teškim ili nesigurnim uvjetima vožnje. To uključuje korištenje u građevinskim zonama, kada su oznake na trakama slabe, kada je ograničena vidljivost, u tunelu, pri vuči prikolice, na rubu ceste, traci koja izlazi s autoceste ili u skliskim ili drugim nepovoljnim uvjetima, uključujući kišu, susnježicu, maglu, led ili snijeg. Tehnologija koja pomaže vozaču Super Cruisea koristi prepoznavanje globalnog sustava pozicioniranja (GPS), podatke poboljšane GPS-om, mapu visoke preciznosti i mrežu kamera za održavanje automatske kontrole upravljanja vozilom na cestama. GPS koristi ispravke u stvarnom vremenu i podatke karte za određivanje lokacije vozila, dok kamera za prepoznavanje prometne trake detektira označene trake na cesti kako bi pomogla vozilu da automatski upravlja i održava položaj trake. Sustav radi s prilagodljivim

tempomatom koji je dizajniran za otkrivanje vozila koja se kreću u istom smjeru na njegovoj putanji te ubrzavanje ili kočenje vozila. Bitno je naglasiti kako to nije sustav za izbjegavanje sudara i neće upravljati niti kočiti kako bi izbjegao sudar. [29]

Super Cruise dopušta aktivaciju samo na mreži autocesta u SAD te Kanadi i to na dionicama koje su do sada snimljene LIDAR uređajima i unesene u sustav. Takvih prometnica ima već preko četvrt milijuna kilometara te količina obuhvaćenih stalno raste dok ovakav pristup donosi višu razinu sigurnosti. Na taj način sustav u automobilu nije prepušten (samo) svojim sensorima da bi "znao" što ga čeka u narednim kilometrima. Ovo je između ostaloga primijenjeno na način da automobil autonomno prilagođava brzinu kada na cesti kojom prometuje nailazi na zavoj. [30]

10.2. Sustavi razine 3

Kada govorimo o razini 3, govorimo o automatizaciji uvjetne vožnje. Kod ove razine automobili donose „sami“ neke odluke poput pretjecanja sporijeg vozila. Ovdje se koristi umjetna inteligencija za donošenje takvih odluka. Ipak, ova razina i dalje zahtijeva ljudski nadzor, čovjek treba biti oprezan i spreman u bilo kojem trenutku preuzeti kontrolu. Prvo globalno vozilo autonomije razine 3, na tržište je stavio Audi 2019. godine kada je predstavio model A8 koji sadrži *Traffic Jam Pilot* koji je kombinacija optičkog mjernog instrumenta s naprednim sensorima i obradom podataka. Naime, Audi nikada nije dobio regulatorno odobrenje za sustav u Njemačkoj. To je otvorilo vrata Hondi da postane prvi proizvođač autonomnih vozila na svijetu. [31]

10.2.1. Traffic Jam Pilot

Honda Sensing Elite pomoću funkcije *Traffic Jam Pilot* (Slika 13.) daje automobilu kontrolu nad kočnicama, upravljanjem i gasom. To omogućuje automobilu održavanje udaljenosti, brzine i položaja trake. Sve se to radi bez potrebe vozača. Sustav razine 3 koristi podatke iz 3D karata visoke razlučivosti i globalnog navigacijskog satelitskog sustava za upravljanje vozilima, kao i desetak vanjskih senzora koji otkrivaju okolinu automobila. Automobil opremljen Hondom Sensing Elite može voziti iza drugog vozila unaprijed postavljenom brzinom i sigurnom udaljenošću dok ostaje centriran u svojoj traci. Ako sustav primijeti da automobil ispred nas

zaostaje ispod zadane brzine, sustav obavještava vozača, a zatim pomaže u prolasku i prelaženju u drugu traku. *Traffic Jam Pilot* bez poteškoća upravlja automobilom u prilikama gustog prometa te ne zahtjeva stalnu kontrolu vozača. Prilikom vožnje autocestom sustav može skenirati cestu i samostalno pokrenuti promjenu trake kako bi prošao. Prethodno spomenut Teslin Autopilot i Cadillacov Super Cruise mogu učiniti neke od ovih stvari, ali oba ta sustava i drugi koji su trenutno na tržištu zahtijevaju pažnju vozača u svim situacijama. [32]

Ostala vozila opremljena 3. razinom automatizacije vožnje, a koja čekaju regulatorno odobrenje, uključuju redizajniranu Mercedes-Benz S-klasu iz 2021. i potpuno novo električno vozilo Mercedes-Benz EQS iz 2022. godine. Mercedesova tehnologija zove se *Drive Pilot*. [33]

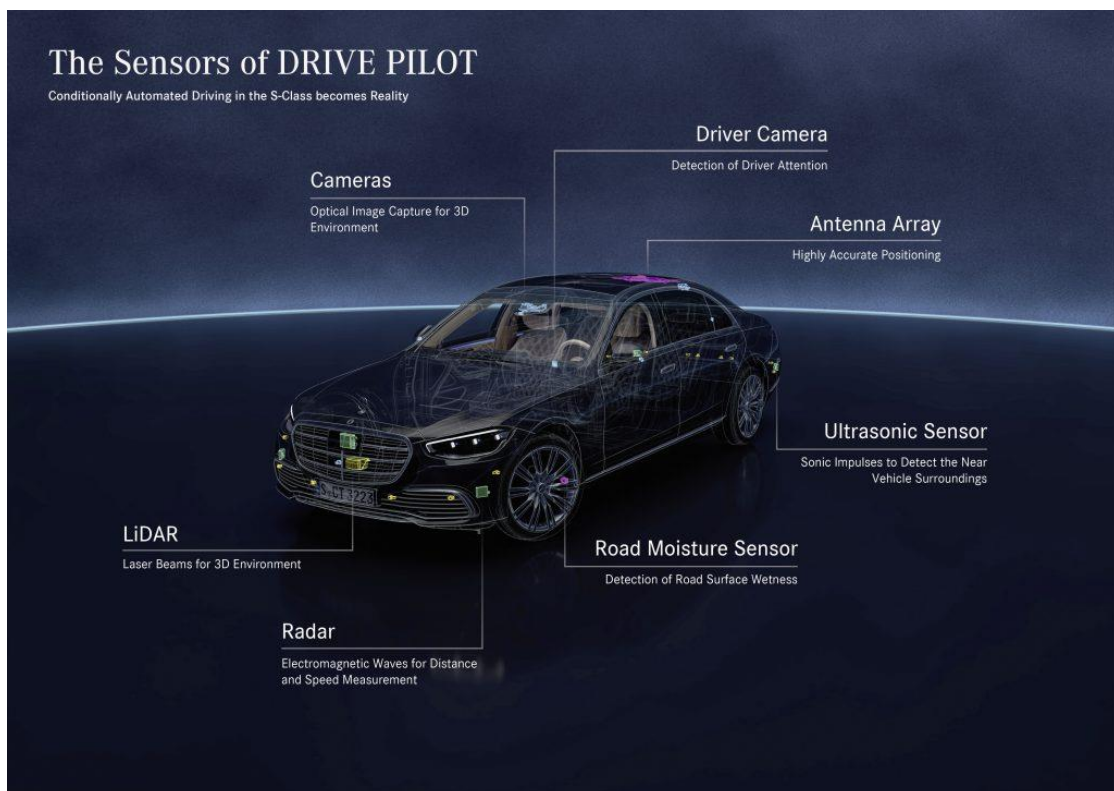


Slika 13. Honda Sensing Elite, izvor: [26]

10.2.2. Drive Pilot

Drive Pilot se oslanja na radar, Lidar, kamere, ultrazvučne senzore i senzore za vlagu kako bi se orijentirao na cesti, pri čemu je Mercedes zauzeo pristup korištenja nekoliko različitih vrsta senzora, za razliku od Tesle koja se kreće u smjeru oslanjanja samo na kamerama za pružanje funkcija pomoći vozaču. Sustav omogućuje vozačima da kontrolu prepuste vozilu i ne nadziru cestu cijelo vrijeme na određenim cestama i pri određenim brzinama. Mercedes je uveo

svoj *Drive Pilot* sustav u dva svoja modela u Njemačkoj, S-klasi (Slika 14.) i EQS limuzinama. Očekuje se da će prodaja ovog sustava razine 3 predstavljati ozbiljan izazov Teslinom Autopilotu razine 2. *Drive Pilot* nudi korisnicima mogućnost da sklone pogled s ceste i ruke s upravljača na duže vrijeme, sve dok sustav ne signalizira vozaču da ponovno preuzme kontrolu. Trenutno je sustav razine 3 ograničen na određene ceste u Njemačkoj i ima najveću brzinu od 60 km/h ili 37 mph, što znači da je trenutno ograničen na situacije s usporenim prometom, no očekuje se da će njegova funkcionalnost u budućnosti biti proširena. [34]



Slika 14. Prikaz sustava senzora na Mercedes-Benz S klasi, izvor: [36]

10.3. Googleov projekt Waymo

Najbolji primjer vozila razine 4 je Googleov projekt Waymo. Vozila Waymo već neko vrijeme u SAD-u rade bez vozača, iako je testni vozač na raspolaganju za svaki slučaj ako nešto pođe po zlu. [37]

Waymo je američka tvrtka za razvoj tehnologije autonomne vožnje i podružnica Alphabet, Googleove matične tvrtke. Waymo upravlja samovozećom taksij uslugom u širem području

Phoenixa u Arizoni pod nazivom "Waymo One", a Google koristi autonomne automobile za prikaz ulica Google karata. Waymo je dizajnirao sustave autonomnih automobila u partnerstvu s nekoliko proizvođača kao što su Audi, Chrysler, Toyota i Lexus. Tvrtka također ima i vlastite dizajne autonomnih automobila. Od početnog testiranja, Waymo razmatra pokretanje plaćene usluge vožnje bez vozača u Kaliforniji. 2015. godine održana je prva vožnja javnom cestom autonomnih vozila bez pratnje i bez vozača u Teksasu. Waymo je od strane Alphabeta pozicioniran da ponudi uslugu vožnje bez vozača koja će se natjecati s Uberom, Lyftom i taksijima. [38]

Iako automobili s razinom 4 autonomije nisu dostupni za javnu upotrebu, oni se koriste na druge načine. Na primjer, Googleov Waymo sklopio je partnerstvo s Lyftom kako bi ponudio potpuno autonomnu komercijalnu uslugu dijeljenja prijevoza pod nazivom Waymo One. Vozači mogu pozvati samovozeći automobil da ih doveze do odredišta. Automobili još uvijek imaju sigurnosnog vozača u slučaju da treba nadjačati ADS. Usluga je dostupna samo u području Metro Phoenixa (Arizona) od kraja 2019., ali se želi proširiti na gradove u Floridi i Kaliforniji. [39]

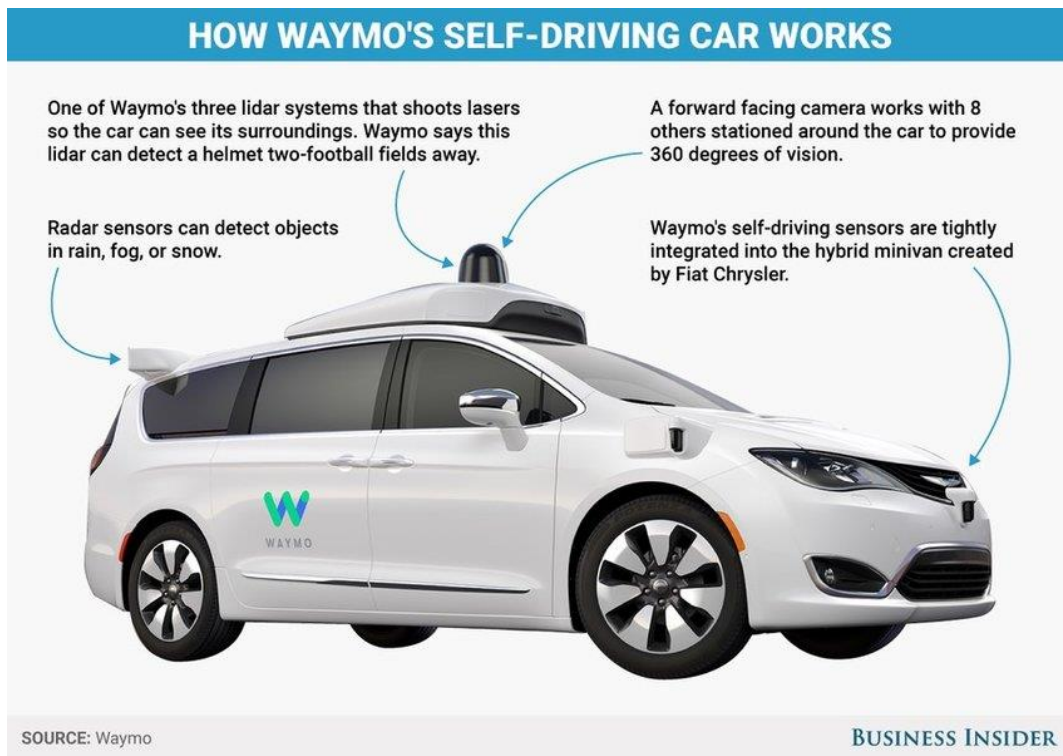
Waymo je usredotočen na izgradnju Waymo vozača (engl. Waymo Driver). Waymo Driver se sastoji od dva dijela: hardvera i softvera. Hardver i softver zajedno rade kako bi oslikali sliku svijeta oko vozila i omogućili sigurno kretanje po cestama. Hardverski dio ima paket senzora koji uključuje lidar, kamere, radar i računarsku platformu koja je bazirana na umjetnoj inteligenciji, oni zajedno pružaju pogled na svijet od 360 stupnjeva. S druge strane, softverski dio prikuplja informacije od senzora kako bi se odgovorilo na četiri ključna pitanja:

- Gdje sam?
- Što se nalazi oko mene?
- Što će se slijedeće dogoditi?
- Što trebam napraviti?

Waymo Driver sustav uzima složene podatke prikupljene iz kompleksnog skupa senzora i dešifrira ono što se nalazi kroz tehnologiju poput strojnog učenja - od pješaka do biciklista, vozila do građevina i još mnogo toga. Waymo Driver također reagira na znakove i signale, poput boja semafora i privremenih znakova zaustavljanja. [40]

Waymo je svoje prvo svjetsko potpuno autonomno putovanje na javnim cestama postigao u 2015. godini u vozilu bez papučice i gasa bez ikakve ljudske interferencije. Vozilo Waymo One

testirano je kao autonomni taksi [33], (Slika 15.) tako da se vozila razine 4 prvenstveno i koriste za usluge javnog prijevoza poput taksija i uglavnom su unaprijed programirana za vožnju samo unutar određenog područja koje ne prelazi ograničenje brzine od oko 30 mph.



Slika 15. Autonomno vozilo Waymo, izvor: [41]

10.4. Pojava osobnih autonomnih vozila u Hrvatskoj

Autonomna vozila zasigurno će zabilježiti našu budućnost i u Hrvatskoj. Još uvijek ne možemo zamisliti da ćemo jednog dana bezbrižno sjest u automobil i uživati u vožnji bez nervoznog praćenja prometa i upravljanja vozilom.

Pet godina otkako je u Hrvatsku ušao Uber, i promijenio taksi-prijevoz, pojavila se nova inicijativa za unapređenje prijevoza, ali s daleko širim implikacijama. Tvrtka Rimac Automobili, čiji je C-Two model, Nevera (Slika 16.), kako tvrde, spreman za autonomnu vožnju, najavila je osnivanje Udruge za poticanje i reguliranje autonomnih vozila. Žele okupiti i podržati rad

kompanija, regulatora, gradova i svih drugih koji bi sudjelovali u budućem ekosustavu autonomnih vozila. [42]

Ovaj električni hiperautomobil, naravno, nije potpuno autonoman, no ima zanimljive signature opcije „driver coacha“ koji prati performanse vozača tijekom utrivanja na stazi te mu predlaže kako bi trebao što učinkovitije voziti da rezultati budu bolji, odnosno brži.

Automobili će u budućnosti imati brojne nove opcije poput „emergency“ kočnica (sustav AEB), upozorenja na sudar s pješacima, morat će prepoznati prometne znakove, upozoriti na brzu vožnju pa čak i upozoriti vozača u slučaju da nije potpuno fokusiran na vožnju. Za implementaciju takvih opcija nije potrebno previše podataka, no za razvoj tehnologije četvrtog stupnja autonomne vožnje (sustav Rimac Technologiesa je “blizu razine 4”) potrebno je jako puno podataka, koje treba prikupiti, pohraniti zatim prebaciti iz automobila na računalo itd. Na prvi pogled to možda ne zvuči komplicirano, no kako Nevera korištenjem brojnih senzora, radara i lidara prikuplja gomilu podataka - čak 5TB po satu, tijekom testiranja koja mogu trajati prosječno 6 sati, dnevno se prikupi čak 30TB podataka. Prvi problem s tako velikom količinom podataka jest njihova pohrana - oni se pohranjuju na diskove koje vozači tijekom vožnje moraju mijenjati, a nakon toga njih je potrebno prebaciti na računala, što također nije jednostavan niti brz proces kada je u pitanju tako golema količina podataka koje je, naravno, potrebno i backupirati. Dodatni izazov pri tome predstavlja i donošenje odluke o mjestu pohrane podataka, hoće li to biti na vlastitom hardveru ili će se plaćati usluga pohrane u cloudu. Također, za obradu i analizu tako velike količine podataka potrebno je i superračunalo koji će moći izdržati teške zadatke koji se pred njega stave. [43]

Prikupljanje podataka prva je faza u razvoju autonomnih sustava, nakon koje slijedi faza u kojoj se podaci, odnosno objekti koji su snimljeni tijekom vožnje označavaju (*annotation*) kako bi ih računalo moglo prepoznati. Označavanje svih stvari i objekata koje računala snima da bi ih se moglo prepoznati veliki je izazov te treba izraditi posebne alate, što to stoji puno vremena i novaca. [43]

Jednom kada su podaci skupljeni te kada računalo može prepoznati stvari oko sebe slijede faze treniranja modela i simulacija. Za to je također potrebno puno vremena i računalne snage. Simulator je iznimno važan jer se unutar njega automobil virtualno može testirati u različitim situacijama na koje možda neće naići u stvarnim uvjetima na cesti. Npr. što ako pukne guma tijekom vožnje, kako će automobil reagirati u slučaju teških vremenskih uvjeta (takve je situacije

poželjno prvo ispitati u virtualnom okruženju, a tek onda testirati na stazi/cesti). Tek nakon toga kreće testiranje i validacija sustava autonomne vožnje. [43]

Naravno, svi spomenuti izazovi o podacima, odnosno njihovom prikupljanju, pohrani, obradi i analizi samo su mali, ali i iznimno komplicirani dio ukupnog procesa razvoja sustava autonomne vožnje. Slične sustave razvijaju i brojne druge globalne tvrtke - od Wayma, Cruisea i Tesle do kineskih tehnoloških i automobilskih kompanija. [43]

Mate Rimac, osnivač i direktor Rimac Automobila, kaže da će do 2030. doći do veće promjene u autoindustriji nego što smo je vidjeli u posljednjih stotinu godina. [42]



Slika 16. C-Two model Rimac Automobila, Nevera: [44]

"Mnogi misle da je velika promjena u autoindustriji elektrifikacija, ali kad se tome doda umrežavanje vozila i autonomna vožnja, naš odnos prema proizvodnji i korištenju automobila postat će drugačiji. Sada vozač, umjesto na pumpu, ide na električnu punionicu. No, u idućih pet do deset godina autonomna vozila će sve promijeniti i želimo da Hrvatska to prepozna i uhvati priliku", kaže Rimac. Navodi da je Hrvatska propustila dvije velike investicije, pa joj je ovo "treća sreća" da izgradi vlastitu autoindustriju. [42]

Upravo su ulaganja autoindustrije u istraživanja i razvoj ta koja najviše rastu i ona mijenjaju i sliku buduće autoindustrije te općenito industrije autonomnih vozila, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj. [42]

Prvi autonomni automobil (Slika 17.) koji je kod nas pušten na prometnice na sebi ima 8 kamera koje snimaju vožnju, zatim je tu i 6 rada, ali i 12 ultrazvučnih senzora koji prepoznaju prepreke na cesti. Jasno, za kvalitetnu vožnju vozilo mora biti opremljeno i vrlo preciznim GPS sustavom. Sustav se bazira na umjetnoj inteligenciji, a za samo sat vremena vožnje može skupiti čak 12 terabajta podataka. Nadodali su još iz Rimac automobila kako vozilo može biti kontrolirano i iznutra, a osnovna namjena u početku će biti sakupljanje podataka i testiranje razvijenih algoritama upravljanja vozilom. [45]



Slika 17. Prvi autonomni automobil na našim prometnicama, izvor: [46]

Prikazana slika vozila je marke Renault, jasno naznačeno testno autonomno vozilo čiji sustavi prikupljaju čak 6 terabajta podataka za svaki sat vožnje, a ti podaci se koriste za razvoj strojnog učenja i umjetne inteligencije za percepciju, snalaženje, planiranje vožnje i praćenje vozača. [46]

Kako u avioindustriji postoje već autonomni dronovi, u iščekivanju su autonomni prekooceanski brodovi, tako je Mate Rimac prepoznao velike i nove prilike u autoindustriji, a

njegova očekivanja i procjene oko pojavljivanja autonomnih vozila su do 2030.godine.

10.5. Budućnost automobila bez vozača

Poticanje automatizacije razine 5 trebao bi biti zajednički napor i mora uključivati više dionika od OEM-a i start-upa do vlada i ne-automobilskih sektora. S obzirom na to da će automatizacija utjecati na to kako putujemo, živimo i radimo, suradnja se mora proširiti na sve što se tiče mobilnosti. Jedno područje na koje može značajno utjecati je pristupačnost za one koji ne mogu voziti i trebaju pouzdan prijevoz. [47]

Predviđa se da će većina vozila biti autonomna do 2030. godine. Naime, optimisti i analitičari svoja predviđanja temelje na iskustvu s elektroničkim tehnologijama, kao što su digitalne kamere, pametni telefoni i osobna računala, a ne inovacije u motornim vozilima. Bitno je naglasiti kako je ionako inovacijama općenito potrebno desetljeća za potpuni prodor na komercijalno tržište vozila. Optimisti tvrde da će koristi biti dovoljno velike da opravdaju prerano ukidanje vozila kojima nedostaju sposobnosti autonomne vožnje, ali to se čini malo vjerojatnim pod realnim pretpostavkama o njihovim prednostima i troškovima. Većina objektivnih stručnjaka priznaje da će automatizaciji razine 5 biti potrebno mnogo više godina za razvoj i testiranje. [20]

U svijetu je dosad napravljen velik broj istraživanja po pitanju autonomnih vozila. Ljudi i javnost još uvijek nisu dovoljno upoznati s autonomnom tehnologijom i samim pojmom autonomnosti. Prilikom provedbe istraživanja primjećuje se da su ljudi u najvećoj mjeri zabrinuti za posljedice kvara sustava, opreme, ali i same vožnje u potpuno autonomnom vozilu, te za sve vrste prijevoza koje ne bi imale vozača. [7]

Vozila bez vozača promijenit će naše živote, baš poput parnih vlakova i motornih automobila nekoć. Oblikovat će budućnost cestovnog prometa i mogla bi dovesti do znatnog smanjenja troškova prijevoza. Mogla bi otvoriti put prema novim uslugama i novim načinima da se zadovolji sve veća potreba za mobilnošću ljudi i robe. Nakon što se pronađe odgovarajuće rješenje za trenutačne početne probleme, vozila bez vozača mogla bi znatno povećati sigurnost na cestama jer se procjenjuje da ljudska pogreška ima ulogu u 94 % nesreća. Takva vozila omogućila bi mobilnost onima koji ne mogu voziti (npr. starijim osobama ili osobama s invaliditetom) ili onima kojima je javni prijevoz nedovoljno dostupan. Potaknulo bi se dijeljenje automobila i „mobilnost kao usluga” (tj. prodaja usluge prijevoza umjesto prodaje automobila).

Procesi elektrifikacije i razvoj elektromobilnosti bi se ubrzali. Naposljetku, vozila bez vozača mogla bi osloboditi prostor koji zauzimaju parkirališta i korjenito izmijeniti urbanističko planiranje. [48]

Napredak automatiziranih vozila mogao bi utjecati na mnoge druge sektore u vrijednosnom lancu (npr. proizvodnja poluvodiča, tehnologije za obradu, digitalne karte) i na nove poslovne modele koje je mobilnost bez vozača omogućila ili olakšala (npr. elektronička trgovina, „mobilnost kao usluga”). Ne možemo, međutim, očekivati da će samo takve tehnološke promjene biti dovoljne da riješimo probleme prometnih gužva, emisija i nesreća sa smrtnim posljedicama. Važno je da u dugom prijelaznom razdoblju postupamo mudro i pobrinemo se da buduća vozila uklopimo u prometni sustav sa prednostima niskih emisija i opće učinkovitosti. Trebamo ojačati veze između vozila i upravljanja prometom, između podataka u javnom i privatnom vlasništvu, između masovnog i pojedinačnog prijevoza te između svih pružatelja i oblika prijevoznih usluga. Mobilnost bez vozača mnogo obećava, ali i otvara ozbiljna pitanja. [48]

11. Zaključak

Za autoindustriju danas nema sumnje da su autonomna vozila naša budućnost. Automobilska tehnologija napreduje velikom brzinom do te mjere da su vozila postala više nego poluautomatska. Jedan od najvećih trendova u automobilizmu danas je sve manja potreba za vozačem. Zbog toga je neizbježna „humanizacija“ samovozećih automobila. Potrebno ih je opremiti „čulima“ kako bi mogli „osjetiti“ okolinu u kojoj se nalaze. Takvu službu obavljaju pomagala, odnosno senzori za prepoznavanje okoline poput radara, lidara, GPS-a, računalnog vida, ultrazvučnih senzora itd. Osnova svega su algoritmi, mnoštvo podataka koji se obrađuju softverskim putevima i po automatizmu izdaju naredbu automobilu. Jedan od spomenutih primjera u ovom radu je Teslin sustav autonomne vožnje, autopilot. Teslini automobili opremljeni su nizom kamera koje konstantno snimaju okruženje oko automobila, snimaju sve linije ocrtane na prometnicama, prometne znakovi, zgrade i ostale objekte. Slika se pretvara u jedinstveni kod na osnovu kojeg softver djeluje i održava liniju kretanja. Kamere same po sebi nisu dovoljne jer ne nude ništa više od slike. Zato su sistemi autonomne vožnje pojačani radarima koji virtualno vide sve prema čemu su okrenuti, a rade na principu snopa lasera, što znači da vide ono što ljudsko oko ni ne može percipirati. Za potpunu funkcionalnost sistema autonomne vožnje zadužena je internetska veza, tj. veza sa mrežom satelita. GPS sistem ima toliku preciznost da može definirati položaj objekta bilo gdje. Putem navigacijskog sistema unutar vozila može odrediti početnu i završnu točku kretanja i cijela vožnja se može upustiti autonomnom sistemu. Skeniranja i kodiranja okruženja mogu se definirati i na druge načine.

Najveća prednost autonomnih vozila bila bi ta što bi se smanjio broj prometnih nesreća, koje svakodnevno odnose ljudske živote. Druga bitna prednost je da bi takva vozila bila dostupna osobama s invaliditetom, pa na taj način nitko ne bi bio uskraćen za upravljanje vozilom. Što se tiče prednosti samih prometnica, svakako bi došlo do smanjenja zastoja i gužva zahvaljujući „komunikaciji“ između vozila. Osim prednosti, naravno da se javlja i mnogo nedostataka. Za ovakav sustav dolazi do nepovjerenja velikog djela populacije i postavljaju se mnoga pitanja. Također, činjenica da bi se uvođenjem ovakvog transporta javio problem velikog broja vozača koji bi ostali bez svog radnog mjesta. Iako bi broj nesreća mogao biti sveden na minimum, to ne znači da ih više neće biti. Dolazimo do pitanja tko će biti kriv ako do nesreće ipak dođe. Mnoga pitanja još nisu u potpunosti definirana.

Autonomna vozila predstavljaju jedan veliki izazov, kako za automobilsku industriju, tako i za kupce koji i dalje nemaju povjerenja u ovaj vid inteligencije. Velikim tehnološkim napretkom razvijena su potpuno autonomna vozila, odnosno vozila koja dostižu petu razinu autonomije, no takva vozila su i dalje u testnim fazama. Kao primjer navodimo Waymo, američku tvrtku za razvoj autonomne vožnje koja upravlja komercijalnom samovozećom taksi službom u Arizoni.

Odgovor na pitanje da li vjerovati sistemima budućnosti je stvar individualnog doživljaja. Prema riječima stručnjaka najmanje pouzdan „dio“ na automobilu je vozač, zbog toga su ga odlučili zamijeniti tehnologijom kako bi se povećala sigurnost na cestama, a da li će to stvarno zaživjeti, ovisi o tome kako će se kretati interesi automobilizma. Svake godine žvoti oko 1,3 milijuna ljudi su prekinuti od posljedica prometnih nesreća. Autonomna vozila mogu poboljšati učinkovitost i spasiti živote. To je prva misija njihova korištenja. S obzirom na velike izazove sa kojima se susreću autonomna vozila i pitanjima koja se postavljaju, ne možemo znati kada će ovakva zamisao biti u potpunosti provedena, sigurna i pouzdana. No, sigurno je da se svake godine autonomija razvija i da smo sve bliže takvim sustavima.

12. Literatura

Doktorski, magistarski i diplomski radovi:

- [8] I. Domić: Sustavi autonomne vožnje u automobilima, Završni rad, Istarsko veleučilište, Pula, 2021.
- [11] P. Hrg: Važnost prometne logistike za razvoj pametnih gradova, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2020.
- [16] S. Slunjski: Vozila bez vozača kao bitan faktor u gradskoj logistici, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2019.
- [21] S. Melani: Analiza razina autonomnosti kod cestovnih prijevoznih sredstava, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2021.
- [33] A. Barać: Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2021.

Stručni rad:

- [3] S. Mandžuka, A. Vučina, P. Škorput: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Internet izvori:

- [1] <https://revijahak.hr/2018/12/23/autonomna-voznja-sve-je-pocelo-jos-s-nikolom-teslom-a-prvi-pokusaj-bio-je-1925-godine/>, dostupno 04.05. 2022.
- [2] <https://autonomnadotvozila.wordpress.com/>, dostupno 04.05. 2022.
- [4] <https://www.techopedia.com/driverless-cars-levels-of-autonomy/2/33449#six-levels-of-autonomy>, dostupno 11.05. 2022.
- [7] Bug.hr. Preuzeto sa: <https://www.bug.hr/transport/autonomna-cestovna-vozila-robote-vozi-polako-20775>, dostupno 11.05. 2022.
- [9] <https://ciak-auto.hr/novosti/11701/>, dostupno 15.05. 2022.

- [12] <https://www.eeworldonline.com/the-radar-technology-behind-autonomous-vehicles/>, dostupno 15.05. 2022.
- [14] <https://www.garmin.com/en-US/AboutGPS/>, dostupno 15.05. 2022.
- [15] http://www.kartografija.hr/old_hkd/obrazovanje/prirucnici/gpsoc/gpspoc.htm, dostupno 16.05. 2022.
- [17] <https://axleaddict.com/safety/Advantages-and-Disadvantages-of-Driverless-Cars>, dostupno 18.05. 2022.
- [18] <https://www.govtech.com/fs/first-driverless-car-crash-study-autonomous-vehicles-crash-more-injuries-are-less-serious.html>, dostupno 26.05. 2022.
- [19] https://seguidores.online/hr/autonomni-automobil/#Coches_autonomos_en_el_mundo, dostupno 28.05. 2022.
- [20] <https://www.vtpi.org/avip.pdf>, dostupno 30.05. 2022.
- [22] https://www.tesla.com/hr_hr/models, dostupno 30.05. 2022.
- [23] https://www.tesla.com/hr_hr/modelx, dostupno 31.05. 2022.
- [24] https://www.tesla.com/hr_hr/modely, dostupno 21.06. 2022.
- [25] https://www.tesla.com/hr_hr/model3, dostupno 14.07. 2022.
- [26] <https://www.cnet.com/roadshow/reviews/2020-cadillac-ct6-4dr-sdn-4-2l-turbo-platinum-review/>, dostupno 21.07. 2022.
- [27] https://www.tesla.com/hr_HR/autopilot, dostupno 21.07. 2022.
- [28] <https://www.tesla.com/support/autopilot?redirect=n>, dostupno 24.07. 2022.
- [29] <https://www.chevrolet.com/electric/super-cruise>, dostupno 25.07. 2022.
- [30] <https://www.bug.hr/tehnologije/general-motors-ponudio-za-nijansu-vise-super-autonomnu-voznju-4745>, dostupno 26.07. 2022.
- [31] <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/levels-of-autonomous-driving-explained>, dostupno 28.07. 2022.

- [32] <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21158656/electronic-design-worlds-first-level-3-selfdriving-production-car-now-available-in-japan>, dostupno 03.08. 2022.
- [34] <https://www.autoweek.com/news/technology/a39943287/mercedes-drive-pilot-level-3-autonomous/>, dostupno 03.08. 2022.
- [35] <https://www.youtube.com/watch?v=7eYYwU3ETnI>, dostupno 08.08. 2022.
- [36] <https://www.iotworldtoday.com/2022/05/09/mercedes-drive-pilot-self-driving-tech-available/>, dostupno 09.08. 2022.
- [37] <https://websetnet.net/hr/self-driving-cars-autonomous-driving-levels-explained/>, dostupno 11.08. 2022.
- [38] <https://www.techtarget.com/whatis/definition/Waymo>, dostupno 12.08. 2022.
- [39] <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/driverless-car>, dostupno 13.08. 2022.
- [40] <https://waymo.com/waymo-driver/>, dostupno 14.08. 2022.
- [41] https://www.researchgate.net/figure/Autonomous-car-Waymo-and-its-instrumentation-system_fig1_326900783, dostupno 15.08. 2022.
- [42] <https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/autonomna-vozila-dolaze-to-je-treca-prilika-za-razvoj-hrvatske-autoindustrije-15030486>, dostupno 15.08. 2022.
- [43] <https://zimo.dnevnik.hr/clanak/gomila-podataka-i-brojni-izazovi-strucnjak-iz-rimac-technology-objasnio-sto-je-sve-potrebno-za-razvoj-autonomne-tehnologije---723982.html>, dostupno 17.08. 2022.
- [44] <https://www.netokracija.com/rimac-nevera-178752>, dostupno 17.08. 2022.
- [45] <https://blichr.wordpress.com/2018/07/22/rimac-ispisao-povijest-prvi-autonomni-automobil-na-hrvatskim-cestama-www-pcchip-hr/>, dostupno 18.08. 2022.
- [46] <https://www.bug.hr/automobili/rimac-na-hrvatskim-cestama-testira-sustav-autonomne-voznje-5206>, dostupno 18.08. 2022.

Popis slika

Slika 1. Houdina Radio Control, izvor: [1]	4
Slika 2. Mercedesov kombi iz 80-ih, izvor: [2]	6
Slika 3. Primjer vozila treće razine, Audi A8, izvor: [5]	10
Slika 4. Primjer vozila četvrte razine, Googleov projekt Waymo LLC, izvor: [6] .	11
Slika 5. Sustav senzora prikazan na autonomnom vozilu, izvor: [3]	14
Slika 6. Infracrvena kamera za noćni vid u vozilu, izvor: [10]	16
Slika 7. Razlika između Lidara i Radara, izvor: [13].....	18
Slika 8. Tesla model S, izvor: [22].....	26
Slika 9. Tesla model X, izvor: [23]	26
Slika 10. Tesla model Y, izvor: [24]	26
Slika 11. Tesla model 3, izvor: [25].....	27
Slika 12. Cadillac CT6, izvor: [26]	27
Slika 13. Honda Sensing Elite, izvor: [26].....	31
Slika 14. Prikaz sustava senzora na Mercedes-Benz S klasi, izvor: [36].....	32
Slika 15. Autonomno vozilo Waymo, izvor: [41].....	34
Slika 16. C-Two model Rimac Automobila, Nevera: [44]	36
Slika 17. Prvi autonomni automobil na našim prometnicama, izvor: [46]	37



IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Tina Čičko (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Analiza razvoja tehnologija i sustava ostvarenih u istraživanjima (upisati naslov) te da u navedenom radu ništa na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Tina Čičko
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Tina Čičko (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Analiza razvoja tehnologija i sustava ostvarenih u istraživanjima (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Tina Čičko
(vlastoručni potpis)