

Automatsko upravljanje vozilima

Anić, Kristian

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:803596>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-12**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

KRISTIAN ANIĆ

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE VOZILIMA
ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE VOZILIMA

AUTONOMOUS VEICHLER MANAGEMENT

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Inteligentni transportni sustavi

Mentor: izv. prof. dr. sc. Jasmin Ćelić

Student: Kristian Anić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112084127

Rijeka, lipanj 2023.

Student: Kristian Anić

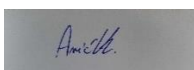
Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112084127

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom AUTOMATSKO UPRAVLJANJE VOZILIMA izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Jasmin Ćelić. U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena nakraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



(potpis)

Student: Kristian Anić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

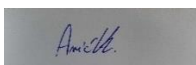
JMBAG: 0112084127

IZJAVA STUDENTA – AUTORA O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG
ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student – autor



(potpis)

SAŽETAK

Rapidnim razvojem tehnologije, u automobilske industriji već se godinama razvijaju automatski upravljana vozila. Svrha ovakvih vozila nije samo smanjenje postupaka koje čovjek mora obavljati prilikom upravljanja vozilom, već razvoj potpuno automatski upravljanih vozila ima puno više prednosti. To uključuje smanjenje troškova transporta, povećanje dostupnosti vozila kućanstvima s niskim primanjima te omogućavanje osobama s fizičkim invaliditetom (koje nisu u stanju upravljati vozilom) da brže i efikasnije dođu do odredišta. Ipak, prije nego što automatski upravljana vozila budu dostupna za svakodnevnu upotrebu, treba savladati niz tehničkih i regulatornih izazova bez kojih brz i siguran transport nije moguć.

Ključne riječi: tehnički i regulatorni izazovi, tehnologija u vozilu, automatski upravljana vozila, transport, dostupnost, sigurnost

SUMMARY

Due to the rapid development of technology, the automotive industry has been developing autonomous vehicles for years. The purpose of such vehicles is not only to reduce the procedures that a person must perform when driving a vehicle, but the development of fully automatically driven vehicles has many more benefits, such as reducing transportation costs, increasing the availability of vehicles to low-income households and people with physical disabilities (who are unable to drive a vehicle) will be able to reach their destination faster and more efficiently. However, before automatically driven vehicles are available for everyday use, a number of technical and regulatory obstacles need to be overcome to make fast and safe transport possible.

Key words: technical and regulatory obstacles, vehicle technology, autonomous vehicles, transport, availability, safety

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. KLJUČNI NAPREDCI U TEHNOLOGIJI AUTOMATSKI UPRAVLJANIH VOZILA.....	3
2.1 SENZORI I SENZORSKI SUSTAVI.....	4
2.1.1. KAMERE	5
2.1.2. RADAR	5
2.1.3. LiDAR	6
2.2 UMJETNA INTELIGENCIJA I STROJNO UČENJE.....	7
2.3 POVEZANOST I KOMUNIKACIJA.....	8
2.4 TESTIRANJE I RAZVOJ.....	9
3. TEHNIČKI I REGULATORNI IZAZOVI.....	11
3.1 FIZIČKA SIGURNOST.....	12
3.2 ODGOVORNOST.....	13
3.3 KIBERNETIČKA SIGURNOST.....	13
3.4 PRIVATNOST PODATAKA.....	14
3.5 INFRASTRUKTURA.....	15
3.6 CIJENA.....	17
4. POKUŠAJI I RJEŠENJA VODEĆIH KOMPANIJA.....	18
4.1 WAYMO.....	18
4.2 TESLA.....	21
4.3 GENERAL MOTORS.....	22
4.4 FORD I VOLKSWAGEN.....	24
4.5 UBER.....	26
4.6 AMAZON.....	27
5. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	32

KAZALO KRATICA.....	35
POPIS SLIKA.....	36

1. UVOD

Razvoj automatski upravljanih vozila stekao je značaj u posljednja dva desetljeća. Ali, sami početak automatski upravljanih vozila veže se uz 1995. godinu kada je Francis Houdina, inženjer elektrotehnike iz New Yorka, prvi put implementirao koncept automatski upravljanih vozila, iako je vozilo bilo daljinski upravljano.

Automatski upravljana vozila su vozila sa sposobnošću upravljanja i navigacije bez ljudske intervencije. Ova grana tehnologije postala je jedan od najvećih trendova i nastavlja se razvijati kako bi postala budućnost vožnje. Testiranja su započela prije nekoliko godina od strane vodećih automobilskih kompanija diljem svijeta, a predviđa se izuzetno značajan razvoj tijekom ovoga desetljeća. Automatsko upravljanje vozilima, razmjena podataka među vozilima i električna vozila izravno su povezani u automobilskoj industriji, a ključan je prijenos podataka kako bi takva vozila funkcionirala. Očekuje se značajan rast 5G konekcija u infrastrukturi diljem svijeta u samo nekoliko godina kako bi se podržao taj razvoj.

Prema Društvu automobilskih inženjera (SAE) klasifikacija automatski upravljanih vozila dijeli se na 6 razina. Razine od 0 do 2 podrazumijevaju funkcije koje pomažu vozaču pri vožnji, dok posljednje tri (od 3 do 5) sadrže funkcije automatskoga upravljanja. [10]

Razina 0 odnosi se na uobičajena vozila gdje je vozač zadužen za sve zadatke upravljanja i manevriranja tijekom vožnje.

Razina 1 podrazumijeva sustave koji upravljaju manevriranjem (skretanjem), brzinom vozila i kočenjem. Uz to, vozila često imaju i funkcije za pomoć pri parkiranju, kontrolu distance, izbjegavanje sudara i automatsku kočnicu za nuždu. Vozač kontrolira većinu funkcija, a ruke su i dalje obavezne ostati na volanu.

Razina 2 podrazumijeva mogućnost preuzimanja kontrole nad nekim sustavima, ali vozač i dalje mora obraćati pažnju na sve kao i kod prve dvije razine. Moguće je da vozač softveru preda kontrolu nad volanom, pedalom za ubrzanje i kočnicom te ruke više nisu obavezne biti na volanu (hands-free driving).

Razina 3 je razina gdje automatski upravljana vozila analiziraju okolinu te posljedično donose inteligentne odluke. Koriste senzore kako bi zabilježili što se događa prilikom vožnje i te podatke kombiniraju s vrstom umjetne inteligencije zvanom „računalni vid“.

Razina 4 omogućuje vožnju bez intervencije vozača. Koriste se algoritmi umjetne inteligencije te postoji *WiFi* konekcija unutar vozila. Vozilo ima mogućnost kontrole kritičnih funkcija vožnje. Od ove razine na dalje nema potrebe za vozačem, već se voze samo suvozač i putnici na stražnjem dijelu vozila.

Razina 5 djeluje na način da dijeli informacije s okolinom i koristi podatke generirane telekomunikacijama i IoT (Internet of Things).

2. KLJUČNI NAPREDCI U TEHNOLOGIJI AUTOMATSKI UPRAVLJANIH VOZILA

Postoje dva načina koja bi teoretski poboljšala sigurnost u prometu, a to su: pojačanje kontrole prometa i striktno pridržavanje propisa te odvajanje vozila od ljudskih operacija. Prvi način tijekom godina pokazao se neuspješnim pa su globalne automobilske i tehnološke kompanije okrenule svoju pažnju prema realiziranju drugoga načina - odvajanja vozila od ljudskih operacija. Ključni napredci u tehnologiji automatski upravljanih vozila mogu se podijeliti u četiri dijela: tehnologija percepcije okoline, inteligentno donošenje odluka, planiranje puta i kontrola pokreta.

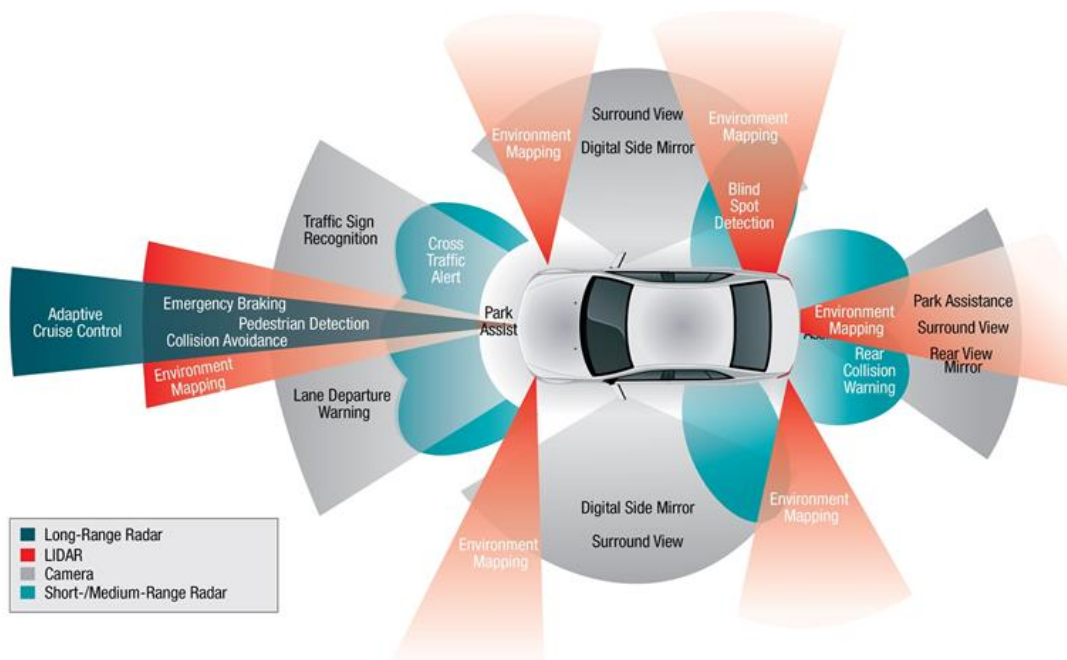
Tehnologija percepcije okoline je kolekcija procesiranja informacija o okolini i informacija vozila što je ključan faktor za automatski upravljana vozila. Tehnologija percepcije okoline omogućena je zahvaljujući sensorima i senzorskim tehnologijama. Senzori su limitirani, odnosno jedan senzor ne može izvršiti zadaću percepcije okoline pod različitim radnim uvjetima, stoga automatski upravljana vozila zahtijevaju primjenu različitih senzorskih tehnologija. Prema tome, može se zaključiti da je percepcija okoline najskuplji dio automatski upravljana vozila. [11]

Nakon završetka percepcijskoga djela, slijedi donošenje odluka na temelju dobivenih informacija, određivanje odgovarajućih radnih postupaka te donošenje inteligentne odluke koja će utjecati na funkciju koju vozilo izvršava. Inteligentno donošenje odluka uključuje neizrazitu logiku, podržano učenje i Bayesianovu mrežnu tehnologiju.

Planiranje puta i kontrola pokreta bazirani su na modelu algoritma koje koristi svako automatski upravljano vozilo. Algoritam korišten za automatsko upravljanje vozilima temelji se na nadziranom dubokom učenju. To je algoritam koji proizlazi iz funkcionalnoga odnosa između poznatih i zavisnih varijabla. Velika količina strukturiranih označenih podataka potrebna je da bi se ovaj model algoritma pravilno podesio. Ako se automatski upravljana vozila žele učiniti inteligentnijima, model algoritma treba biti podupiran velikom količinom visoko kvalitetnih podataka o postojećim cestama.

2.1. SENZORI I SENZORSKI SUSTAVI

Automatski upravljana vozila nemoguća su bez upotrebe senzora. Senzori omogućuju vozilu da sve vidi i osjeti na cesti, a istovremeno omogućuju i prikupljanje informacija potrebnih za sigurnu vožnju. Te informacije obrađuju se i analiziraju u svrhu izrade puta od točke A do točke B te se posljedično šalju potrebne instrukcije kontrolnim sustavima vozila kao što su upravljanje volanom, brzinom vozila i kočenjem. Nadalje, informacije prikupljene pomoću senzora u automatski upravljanim vozilima, uključujući gužve, prepreke na cesti, prometne nesreće i slično, mogu se dijeliti među vozilima kroz V2V (Vehicle-to-vehicle) komunikaciju što može biti izuzetno dobro i potrebno za automatsku vožnju. Većina automobilskih kompanija bazira se na tri tipa senzora, a to su: kamera, radar i LiDAR senzor. [12]



Slika 1. Senzori i senzorski sustavi u automatski upravljanom vozilu

Izvor: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ftowardsdatascience.com%2Fhow-to-make-a-vehicle-autonomous-16edf164c30f&psig=AOvVaw0D9zLGtpxnw7u9DycyLYYD&ust=1687617936394000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCJj7h_PQ2f8CFQAAAAAdAAAAABAI

2.1.1. KAMERE

Automatski upravljana vozila koriste video kamere i senzore kako bi interpretirala okolne objekte, slično kao što to čini čovjek svojim očima. Ako se video kamere postave na vozilo kao što je prikazano na slici iznad, vozilo će imati pregled okoline od 360°. Danas su široko dostupne 3D kamere koje prikazuju izrazito detaljnu i realističnu sliku. Ovakva vrsta senzora naziva se još i „slikovni senzori“. Slikovni senzori automatski detektiraju objekte u okolini, klasificiraju ih i određuju udaljenost objekata od vozila. Ovi senzori lako identificiraju druga vozila, pješake, prometne znakove, oznake na cestama, mostove i drugo.

Nažalost, ova vrsta senzora daleko je od savršenstva. Uspješno obavlja svoj zadatak samo uz dobre vremenske uvjete. Loši vremenski uvjeti, poput kiše, magle ili snijega, otežavaju slikovnim sensorima da sa sigurnošću raspoznaju objekte u svojoj okolini, što, naravno, povećava vjerojatnost prometne nesreće. Osim loših vremenskih uvjeta, postoji još jedna vrsta problema kod kojih slike s video kamera nisu dovoljno dobre da računalo raspozna koju odluku treba donijeti a to su situacije gdje su boje objekta vrlo slične bojama pozadine, drugim riječima kontrast je izrazito nizak te se kao posljedica pojavljuje neuspjeh algoritma upravljanja.

2.1.2. RADAR

Radar senzori predstavljaju ključni doprinos automatski upravljanim vozilima. Šalju radio valove koji detektiraju objekte i mjere njihovu udaljenost i brzinu u odnosu na vozilo u stvarnom vremenu. Za potrebe sigurnosti i funkcionalnosti, vozila se opremaju radar sensorima kratkoga i dugoga dometa oko cijeloga vozila, svaki s vlastitom posebnom funkcijom. Radar senzori kratkoga dometa rade na frekvenciji od 24 GHz i omogućuju praćenje slijepe točke, asistenciju pri odabiru idealnoga voznoga traka te pomoć pri parkiranju. S druge strane, radar senzori dugoga dometa rade na frekvenciji od 77 GHz i obavljaju funkcije kao što su automatsko održavanje udaljenosti i pomoći pri zaustavljanju (kočenju). Za razliku od kamera senzora, radar senzori nemaju problem pri identificiranju objekta u lošim vremenskim uvjetima.

Algoritam za prepoznavanje pješaka treba biti dodatno unaprijeđen jer trenutni radarski senzori koji se koriste u vozilima imaju točnost identifikacije pješaka od 90% do 95%, što nije dovoljno za optimalnu sigurnost pješaka. Isto tako, današnji 2D radarski senzori koji su u širokoj upotrebi nemaju mogućnost detektiranja visine objekta jer vrše samo

horizontalno skeniranje slanjem radio valova koji se odbijaju od objekata, što može predstavljati problem u određenim situacijama poput vožnje ispod mosta ili prometnih znakova. Kao rješenje ovih problema, razvijaju se različiti 3D radarski senzori.

2.1.3. LiDAR

LiDAR senzori rade slično kao radar senzori, samo što koriste lasere umjesto radio valova. Osim što mjere udaljenost vozila od raznovrsnih objekata na cesti, LiDAR senzori omogućuju stvaranje 3D slike detektiranih objekata te zapisivanje okoline. Uz to, LiDAR senzori daju mogućnost konfiguracije kako bi kreirali potpunu mapu okoline od 360°.

Proizvodnja ovih senzora zahtijeva rijetke plemenite metale, što rezultira visokim troškovima u usporedbi s radar sensorima ili kamerama. Senzorski sustavi potrebni za automatski upravljana vozila mogu doseći cijenu od preko 10 000 dolara, dok vodeća kompanija Uber koristi vrhunske senzore koji mogu imati cijenu i do 80 000 dolara. Još jedan izazov LiDAR senzora jest njihova osjetljivost na loše vremenske uvjete, slično kao i kod kamera. LiDAR senzori ponekad nailaze na smetnje zbog kiše, magle ili snijega, ali posebno u ekstremnim uvjetima.

2.2. UMJETNA INTELIGENCIJA I STROJNO UČENJE

Umjetna inteligencija i strojno učenje dio su računalne znanosti te su usko povezani. Te su dvije tehnologije baza svih inteligentnih sustava te su trenutno ponajviše u trendu razvijanja. Iako su usko povezane i ljudi ih često koriste kao sinonime, te se dvije tehnologije razlikuju.

Umjetna inteligencija definira se kao tehnologija uz čiju se pomoć uspješno razvijaju inteligentni sustavi koji simuliraju inteligenciju čovjeka. Sustavi umjetne inteligencije ne zahtijevaju predprogramiranje, već koriste algoritme koji rade sa svojom inteligencijom. To uključuje algoritme strojnoga učenja, poput podržanog učenja i dubokog učenja neuronskih mreža. Umjetna inteligencija koristi se već dugi niz godina u sustavima poput Siri u iPhone pametnim telefonima, Google, AlphaGo i drugo. Po njenim mogućnostima, umjetna inteligencija dijeli se u tri grupe: slaba, generalna i jaka umjetna inteligencija. Trenutno se koriste, i pri tome još razvijaju, slaba i generalna umjetna inteligencija. Budućnost umjetne inteligencije upravo je jaka umjetna inteligencija za koju se očekuje da će nadmašiti inteligenciju čovjeka. [1]

Strojno učenje u suštini se definira kao izvlačenje znanja iz podataka, a opisuje se kao podgrana umjetne inteligencije koja omogućuje strojevima i sustavima da uče iz prethodno unesenih podataka. Strojno učenje omogućuje računalnom sustavu da donosi pretpostavke ili odluke temeljene na prethodno unesenim podacima, bez potrebe za izravnim programiranjem. Ova tehnologija oslanja se na algoritme koji uče iz prethodnih podataka, ali njihova primjena je ograničena na jasno definirane aplikacije. Primjerice, recimo da izrađujemo sustav strojnoga učenja koji će detektirati slike automobila. Ovakav sustav dat će samo rezultate automobilskih slika. Ako se unese novi podatak poput bicikla, sustav neće moći reagirati i dati rezultat. Danas se strojno učenje koristi u algoritmima za Google pretraživanje, filtriranje neželjenih e-mailova, Facebookove automatske sugestije prijatelja i slično. [1]

2.3. POVEZANOST I KOMUNIKACIJA

Povezanost i komunikacija među automatski upravljanim vozilima vodi automobilsku industriju prema velikim promjenama u prometu i načinu vožnje na svim vrstama cesta, kao što su gradske ceste i ceste van naselja, ali najveća pozornost usmjerena je prema prometu na autocestama, zaobilaznicama, vijaduktima, odnosno općenito prema svim brzim cestama. Tehnologija povezanosti vozila omogućuje informacije u stvarnom vremenu koje se odnose na stanje okolnoga prometa. Očekuje se da će takve vrste informacija imati dvostruki učinak: poboljšanje vozačeve učinkovitosti i udobnosti s jedne strane, te povećanje fizičke sigurnosti i mobilnosti s druge strane. Zadnja dva desetljeća dokaz su značajnoga napretka u bežičnim komunikacijama, procesorskim snagama i senzorskim tehnologijama koje se integriraju sa sustavima upravljanja prometom s ciljem poboljšanja mobilnosti, održivosti, sigurnosti i pouzdanosti ovakvih integriranih sustava.

Bežična komunikacija daje mogućnost kreiranja, tako zvanog interneta među vozilima, gdje pojedino vozilo može komunicirati s drugim vozilima (V2V komunikacije) i s infrastrukturom (V2I komunikacije). Kao posljedica, to bi utjecalo na sve aspekte vozačevoga procesa donošenja odluka, od strateških do operacijskih. Na razini operacijskih odluka, ove tehnologije namijenjene su kao pomoć vozaču i vozilu da donosu sigurne i pouzdane odluke o ubrzanju vozila i mijenjanju prometnih traka. [2]

Bitno je naglasiti da ove dvije vrste komunikacija (V2V i V2I) imaju značajan pozitivni utjecaj na efikasnost i pouzdanost u upravljanju automatskim vozilima. Očekuje se da će se prometna okolina i ponašanje vozača u vozilima mijenjati pojavom povezanosti i komunikacije među vozilima. Ljudski i automatski upravljana vozila imaju različite logike jer čovjek ima dulje vrijeme reakcije u usporedbi s robotom zbog potrebe za percepcijom okoline i donošenjem odluka na temelju procjene situacije.

2.4. TESTIRANJE I RAZVOJ

Kod testiranja automatski upravljanih vozila postoji nekoliko aspekata koji zahtijevaju testiranje i potvrdu o ispravnosti i funkcionalnosti pa je prema tome razvijeno, i još se razvijaju, nekoliko metoda ispitivanja kojima proizvođači dolaze do krajnjega proizvoda.

Ponajprije se radi testiranje softvera gdje je potrebno ispitati milijune linija koda automatskim funkcionalnim testom, a to zahtjeva i pojačanu sigurnost sigurnosno kritičnih sustava koji su trajno online.

Nadalje, radi se test simulacije. Simulacija visokoga povjerenja potrebna je u automatski upravljanim vozilima. Sustavi i podsustavi koji se redosljedno moraju izvršavati da bi se postigla realistična dinamika sustava mogu se potvrditi HIL (Hardware-in-the-loop) testovima.

Nakon toga, treba provesti XIL (X-in-the-loop) simulacijsko testiranje koje uključuje najnaprednije simulacijske platforme namijenjene automatski upravljanim vozilima. Ove platforme fokusiraju se na modeliranje izrazito preciznih i logičkih senzora te razne scenarije tijekom vožnje, kao i funkcije automatski upravljanih vozila. Testirajuća arhitektura daje validaciju pri ispunjenju svih zahtjeva koje automatski upravljano vozilo treba ispuniti, poput sustava percepcije, planiranja, logike i kontrole koristeći simulacijske i virtualne tehnologije. Senzorska tehnologija dodatno se provjerava HIL testovima, dok se finalni kod koji će biti korišten provjerava SIL (Software-in-the-loop) testovima.

Nakon što su zahtjevi potvrđeni u simulacijskoj okolini, potrebno ih je testirati u stvarnosti. Test vožnje u pravom prometu vrši se na stvarnim, otvorenim mjestima. Na primjer, Googleova automatski upravljana vozila većinom se testiraju u svakodnevnom prometu. S druge strane, postoji nekoliko testirajućih centara poput M-City u Michiganu. Ovi centri sastoje se od nekoliko testirajućih okolina, poput urbanih područja, brzih cesta, raskrižja i slično, gdje se ovisno o scenariju izvode različiti testovi. [5]

Automatski upravljana vozila ovise o interakciji sa stvarnom, fizičkom infrastrukturom. Testiranja na cestama otkrivaju kako se trenutna infrastruktura transporta može optimizirati s ciljem da se iz automatski upravljanih vozila izvuče maksimalna korist. Uz to, IVFC, organizacija budućih izazova inteligentnih vozila (Intelligent Vehicle Future Challenge) našla je dobru metodu testiranja i validacije automatski upravljanih vozila

koristeći stvarne slučaje prije nesreća bazirane na eksperimentalnim podacima. Na primjer, kompanija Volvo svoj sustav detekcije pješaka ocjenjivala je na temelju stvarnih nesreća.



Slika 2. M-City centar za testiranje automatski upravljanih vozila u Michiganu

Izvor: <https://mcity.umich.edu/wp-content/uploads/2019/04/Mcity-test-facility-2019-map-only.png>

3. TEHNIČKI I REGULATORNI IZAZOVI

Proteklih godina, industrija automatski upravljanih vozila zahvatila je pažnju čitavoga svijeta. Sa sigurnošću se može reći da će u budućnosti automatski upravljana vozila potpuno zamijeniti manualno upravljana vozila. Iako su vodeće kompanije već obavile sve faze testiranja funkcionalnosti i ispravnosti automatski upravljanih vozila, do danas niti jedna nije uspjela objaviti krajnji proizvod spreman za kupnju.

Industrija automatski upravljanih vozila suočava se s nekoliko tehničkih i regulatornih izazova, uključujući radarske smetnje, vožnju pri ekstremnim vremenskim uvjetima te nedostatak potrebnih zakona i regulacija.

Kako je već spomenuto, radarski senzori detektiraju odbijene radio valove od objekta u okolini. Brzo računanje vremena putanje radio vala dozvoljava vozilu da izračuna svoju udaljenost od objekta. Ovakav sustav nema poteškoća kada je vozilo samo na cesti ili u blizini manualno upravljanih vozila. Situacije u kojima se više automatski upravljanih vozila nalazi u blizini mogu predstavljati problem. Emitirani radio valovi tih vozila mogu se međusobno ometati i rezultirati lažnim signalima. Naravno, sustavi globalnog pozicioniranja (GPS) mogu se koristiti za točnu detekciju drugih automatski upravljanih vozila, no postavlja se pitanje hoće li funkcionirati ako su vozila udaljena samo nekoliko centimetara jedno od drugog. Uz to, GPS sustav ne može se koristiti za detekciju zgrada, zidova, mostova i drugih okolnih objekata. Automatski upravljano vozilo mora imati mogućnost raspoznavanja svojih signala od tuđih, što će biti jedan od najvećih izazova u nadolazećim godinama.

Sigurnost (fizička i kibernetička) je jedan od najviše raspravljanih aspekta u razvoju automatski upravljanih vozila. Kompanije koje se bave razvojem takvih vozila uvijek stavljaju naglasak na povećanje sigurnosti koju ona donose i na potencijal za spašavanje života. Nasuprot tome, loši vremenski uvjeti kao kiša, magla i snijeg ostaju izazov za automatski upravljana vozila. U dosada razvijenim automatski upravljanim vozilima, LiDAR senzori doživljavaju poteškoće pri teškim kišama i snijegu, dok magla utječe na kamere i kvalitetu njihove slike. Inženjeri rade na rješenju prethodno navedenih problema. Rješenje zahtjeva korištenje visoko rezolucijskih 3D mapa koje sakupljaju i obrađuju podatke o cesti i njejoj okolini, uključujući prometne znakove, oznake na cestama, objekte u okolini, topografiju i geografiju okoline. Iako je dio problema riješen, točnije otkriven, treba još vremena da se takva vozila mogu s potpunom sigurnošću voziti u ekstremnim vremenskim uvjetima. [13]

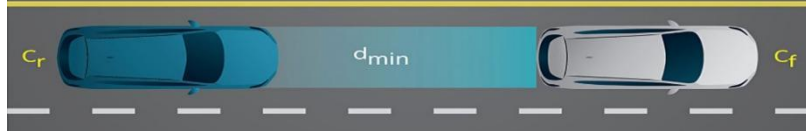
Zakonodavni okvir jedan je od najkritičnijih aspekata koji je potreban kako bi automatski upravljana vozila postala široko dostupna. Državni zakoni ne uspijevaju navesti tko će biti odgovoran u slučaju prometnih nesreća s automatski upravljanim vozilima. U većini današnjih automatski upravljanih vozila, softver je ključan za donošenje odluka i smatra se operatorom vozila. S druge strane, dizajn vozila može varirati ovisno o proizvođaču. Neka automatski upravljana vozila nemaju pedale niti volan, pa se, naravno, prilikom nesreće ne može okriviti vozač. Uz to, puno je i drugih izazova, poput toga tko će preuzeti odgovornost osiguranja vozila (kupac ili proizvođač), kibernetička i fizička sigurnost, infrastruktura i cjenovna dostupnost.

3.1. FIZIČKA SIGURNOST

Fizička sigurnost pri vožnji daleko je najbitniji aspekt koji proizvođači i potrošači moraju imati na umu. U tu svrhu razvijen je RSS (Responsibility-sensitive safety) model koji dokazuje sigurnost automatski upravljanih vozila. Područja upotrebljivosti RSS modela obuhvaćaju automatski upravljana vozila i vozila s funkcijama asistiranja vozača. Istaknuta značajka RSS modela je korištenje znanja iz područja mehanike kako bi se postavila ograničenja u ponašanju vozila. To uključuje određivanje i održavanje sigurne udaljenosti od vozila ispred, čak i u slučaju naglog kočenja, s ciljem da se izbjegne sudar.

Kada se koristi RSS model kao sigurnosni logički sustav automatski upravljanih vozila, potrebno je ne samo poznavanje fizike određene situacije, već točna i precizna mjerenja koja se pohranjuju u RSS jednadžbu. Proučavanje RSS modela potvrdilo je ispravnost jednadžbe koja se koristi pri određivanju i održavanju sigurne udaljenosti od vozila u uobičajenim i normalnim situacijama. Problem se pojavljuje na zaleđenim cestama i oštećenim kolnicima gdje sustav mora naći balans između određivanja i sigurnosti. Taj problem se još uvijek rješava. [6]

DEFINE SAFE LONGITUDINAL DISTANCE

$$d_{\min} = \left[v_r \rho + \frac{1}{2} \alpha_{\max} \rho^2 + \frac{(v_r + \rho \alpha_{\max})^2}{2\beta_{\min}} - \frac{v_f^2}{2\beta_{\max}} \right]_+$$


Slika 3. Prikaz jednadžbe i računanja minimalne udaljenosti RSS modela

Izvor: https://iot-automotive.news/wp-content/uploads/2020/02/INTEL_RSS_1_Large.jpg

3.2. ODGOVORNOST

Predviđeno je da će automatski upravljana vozila u velikom broju voziti cestama diljem svijeta, ali još nije odlučeno tko će preuzimati odgovornost u slučaju nesreće. U pitanju nije samo zakonska, već i moralna odgovornost.

Današnja se manualna vozila sudaraju. Očekuje se isto za automatski upravljana vozila, ali u izrazito manjoj količini. Logično je da u vozilima gdje vozači nemaju kontrole nad upravljanjem vozila ne bi ni trebali biti odgovorni u slučaju prometnih nesreća. Treba imati na umu da i sam pojam „vozač“ u ovom smislu nije točan zbog toga što je „vozač“ samo osoba koja putuje u tom vozilu. Posljedično, javlja se pretpostavka da bi proizvođači trebali preuzeti odgovornost. Proizvođači su odgovorni za krajnji proizvod, i on kao takav mora proći niz testiranja koja dokazuju ispravnost i funkcionalnost svih operativnih sustava. [7]

Vozač bi mogao preuzeti odgovornost samo u slučajevima gdje je potrebno pratiti prometnu situaciju i intervenirati u slučaju moguće nezgode. Naravno, onda nije riječ o potpuno automatskim vozilima nego o djelomično automatskim vozilima. S razvojem potpuno autonomnih vozila i njihove tehnologije, postoji mogućnost da vozačeve intervencije mogu uzrokovati više nesreća nego što bi ih na taj način izbjegli.

Potpuno automatski upravljana vozila bit će spremna za tržište tek kada budu vozila bolje i sigurnije od čovjeka. Uz to, mora se riješiti i problem preuzimanja odgovornosti, što zahtjeva i provedbu novih propisa i regulacija diljem svijeta.

3.3. KIBERNETIČKA SIGURNOST

Evolucijom tehnologije posljedično se razvijaju i pametni gradovi. Inteligentni transportni sustavi izrazito su bitni u pametnim gradovima, a automatski upravljana vozila esencijalni su dio inteligentnoga transporta.

Iako se mogućnosti automatski upravljanih vozila čine beskonačnima, nove prijetnje su stvorene. Istraživanja znanstvenika diljem svijeta pokazala su puno ozbiljnije probleme koje kibernetički napadi mogu prouzročiti, poput iznude, IoT (Intranet of things) napada te krađe vozila. Dakle, u pitanju nisu samo već poznati kibernetički napadi kojima se samo otkrivaju informacije o vozilu. Zbog povezanosti (mogućnosti komuniciranja) ovakvih

vozila, u opasnosti su i mreže na koje su vozila spojena, bile to financijske mreže za procesiranje plaćanja, cestovni senzorski sustavi, upravljanje tijekom prometa i slično. [8]

Kako bi se osigurala okolina sigurna od kibernetičkih napada, razvijen je višeslojni pristup koji štiti žične i bežične ulazne točke vozila, gdje bi kibernetički napadi mogli biti izvršeni. Pristup glasi redosljedno: [14]

- identifikacijski i sigurnosni procesi moraju biti dio svakoga kritičnoga sustava vozila,
- trenutna detekcija i brz odziv potencijalnim prijetnjama kibernetičke sigurnosti,
- arhitekture, metode i mjere dizajnirane za kibernetičku sigurnost s ciljem brzoga oporavka od incidenta nakon što se dogodi,
- metode za efektivno dijeljenje inteligencije i informacija diljem industrije zbog učenja iz pojedinih uspelih ili neuspelih napada,
- kreacija standarda koje izlučuju najbolje moguće postupke obrane kibernetičkih napada

3.4. PRIVATNOST PODATAKA

Zbog velike količine podataka koje generira automatski upravljano vozilo i količine informacija koja prolazi kroz vozila i okolne infrastrukture, u Europskoj uniji je donesena Regulacija globalne zaštite podataka (GDPR) koja je stupila na snagu u svibnju 2018. godine. To je bila prekretnica u zaštiti privatnih podataka čak i u zemljama izvan EU. Iako je većina zemalja EU prihvatila ovu regulaciju, postoje zemlje koje još nisu. Pritisak se vrši na kompanije i institucije da podlegnu ovim regulacijama. [9]

Austrija, Brazil, Grčka, Italija, Novi Zeland, Slovačka i Švicarska sedam su zemalja koje se bave testiranjem automatski upravljanih vozila i njihovim razvojem u polju zaštite privatnosti podataka. Razvijaju se regulacije i sustavi koji će štititi informacije o vlasniku vozila, o lokaciji vozila, o sensorima, i najbitnije, sustavi zaštite prikupljana i korištenja tuđih podataka. [15]

Informacije i podaci sada vrijede više nego ikada u prošlosti, a mnogi stručnjaci smatraju da bi podaci mogli postati digitalna valuta 21. stoljeća. Čak i tijekom transporta,

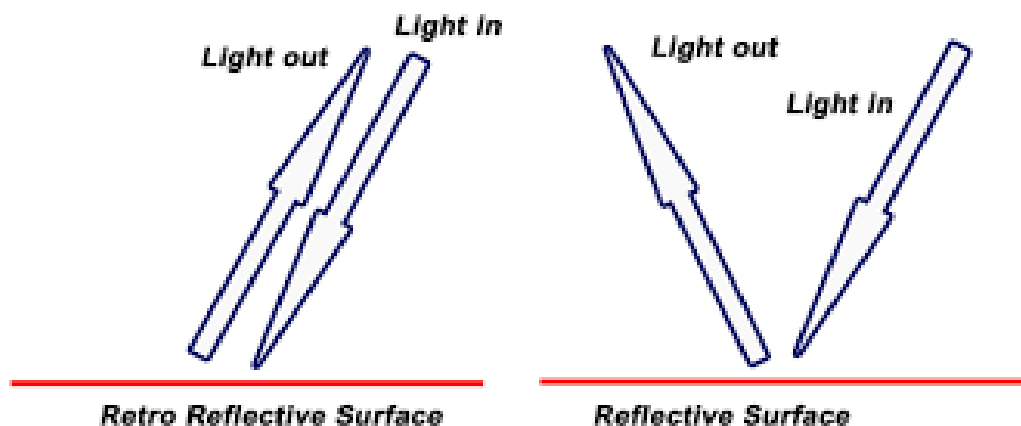
podaci su izrazito bitni kao što su bitna vozila i okolna infrastruktura zbog ispravnosti i funkcionalnosti.

Uz to, moguće je dodatno osigurati podatke novim zakonima. Već postoje državni i federalni zakoni u 17 država u Sjedinjenim Američkim Državama koji štite zapisnik podataka o događaju (EDR) od izvlačenja informacija te su ti podaci dostupni samo vlasniku vozila. Isto tako, još jedan način bio bi učiniti podatke anonimnima, ali bi mnogi koraci trebali biti napravljeni kako bi se osigurala anonimnost podataka. Kod anonimnosti podataka mora se onemogućiti prepoznavanje identiteta podataka.

3.5. INFRASTRUKTURA

Kako se razmatra potencijalni razvoj infrastrukture, važno je simultano pratiti razvoje u tehnologijama automatski upravljanih vozila. Investitori konstantno raspravljaju koliki bi iznos novca trebali uložiti u V2I (Vehicle-to-infrastructure) sustave, poput senzora na cestama ili prometnim znakovima, koji će slati signale vozilima i tako im pomoći s navigacijom u gradskim ulicama. U industriji automatski upravljanih vozila, također, ima puno rasprava na temu koja V2I tehnologija se čini najprikladnijom, gdje se jedna strana zalaže za predanu kratko udaljenu komunikaciju (DSRC), a druga za staničnu vozilo-prema-svemu (C-V2X) komunikaciju.

Rupe na cestama, loše označeni prometni znakovi i drugi nedostaci na cestama predstavljaju sigurnosne izazove za automatski upravljana vozila. Ako vlade diljem svijeta odluče ubrzati prilagodbu razvoju takvih vozila, neće biti dovoljno samo dodatno ulaganje u infrastrukturu. Potrebna je temeljna obnova postojeće infrastrukture koja se i danas nalazi u lošem stanju. Na primjer, umjesto klasičnoga precrtavanja bijelih linija, timovi za održavanje cesta mogu postaviti retro-reflektirajuće linije koje pomažu automatski upravljanim vozilima da ostanu unutar tih linija. Ovakve linije odbijaju svjetlost natrag prema izvoru, rezultirajući boljom vidljivošću nego s običnim reflektirajućim linijama. [16]



Slika 4. Funkcija retro reflektirajućih linija

Izvor: https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Freflectivetape.info%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F01%2Fretro_diag.jpg&tbid=AjU-fBQyspmb4M&vet=12ahUKEwjCoden2u3_AhVziv0HHRyUBJoQMvgBegUIARC5AQ..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Freflectivetape.info%2Freflective-versus-retro-reflective-tape-what-is-the-difference%2F&docid=IIEAPRz_ZXGBM&w=648&h=273&q=retroreflecting%20lines&ved=2ahUKEwjCoden2u3_AhVziv0HHRyUBJoQMvgBegUIARC5AQ

Čak i nakon što se naprave osnovni radovi, ostaje problem održavanja cesta. Problematične ceste nisu problem samo za vozače standardnih vozila, već i za automatski upravljana vozila. Kako bi se potaknula veća razina autonomnosti, softver zadužen za mapiranje cesta mora biti izrazito precizan zbog, primjerice, složenih raskrižja gdje je važno bilježiti dimenzije s točnošću od centimetra.

Kako bi izbjegli probleme, relevantna prometna tijela trebaju razmotriti primjenu polugodišnjih ili godišnjih održavanja umjesto tradicionalnih metoda održavanja. Isto tako, formiranjem tima za detaljno mapiranje cesta, omogućuje se brzo ažuriranje mapa automatski upravljanih vozila.

Unutar gradova, u budućnosti, čeka nas potpuno autonomna realnost. Danas su semafori i prometni znakovi izrađeni za manualna vozila, dok će u budućnosti gradovi morati zamijeniti ovakvu vrstu informacija s digitalnim sustavima informiranja koji će ključne informacije, kao što je primjerice maksimalna dozvoljena brzina, direktno pohranjivat u vozilo.

Kada automatski upravljana vozila postanu dominantna, strukture cesta isto će se morati promijeniti. U urbanim dijelovima grada bit će moguće proširiti pješački dio kolnika kao rezultat smanjivanja prometnih traka. Prometne trake moći će se smanjiti iz razloga što će vožnja slalom, koja je česta kod ljudi, biti izrazito, ako ne i potpuno smanjena. Isto tako, kako automatski upravljana vozila nemaju potrebe za ljudskom interakcijom, retrovizori na vozilima neće imati svrhu, a branici neće imati potrebu biti glomazni kao kod današnjih vozila. Dakle, očekuje se da će vozila biti puno manja.

3.6. CIJENA

Državne vlade već se suočavaju s problemom deficita u budžetu i nedostatkom resursa za transport. Prema ASCE (Američko društvo inženjera građevinarstva), SAD ima zaostatak od 836 milijardi dolara u potrebnom kapitalu za autoceste i mostove. Uz to, rast i razvoj automatski upravljanih vozila i električnih vozila mogao bi pogoršati trenutnu prazninu u financiranju, čak do 22% (što bi iznosilo otprilike 80 milijardi dolara do 2040. godine). Računajući na to da će veliki postotak automatski upravljanih vozila biti na bazi električnih vozila, prihodi poreza na gorivo past će za više od 50%. Nadalje, s obzirom na to da čovjek neće imati interakciju s upravljanjem vozila, neće biti potrebe za vozačkim dozvolama i osiguranjem vozila, stoga će i prihod raznih naknada dramatično pasti.

Takve će promjene vrlo vjerojatno predstavljati velike financijske izazove u državnoj službi. Državni službenici mogli bi ublažiti prazninu u financiranju pronalaskom novih tokova prihoda. Kada se njihove opcije razmotre, od pomoći bi bilo da istraže bi li novi tokovi prihoda potaknuli pristupačnije cijene ili ne. U većini slučajeva, tokovi prihoda mogu doći od javno-privatnih partnerstva, koja postaju sve više uobičajena kod velikih prijevoznih projekata.

S obzirom na sve to, stručnjaci procjenjuju da će cijena po vozilu, kada postanu javno dostupna, biti 250 tisuća dolara. Naravno, porastom broja automatski upravljanih vozila na cestama, njihovim rastom, razvojem i samim prolaskom vremena, očekuje se drastično smanjenje cijena kako bi bila cjenovno dostupna svakom kućanstvu. [23]

4. POKUŠAJI I RJEŠENJA VODEĆIH KOMPANIJA

Vodeće kompanije danonoćno rade na rješavanju problema, od kojih su sljedeći najvažniji:

- bolji softver
- bolje mape
- bolji senzori
- bolja komunikacija
- etički roboti

Rješenjem tih pet problema, vodeće kompanije mogle bi bez oklijevanja predstaviti svoje krajnje proizvode javnosti. Naravno, za rješenje tih problema trebat će nekoliko godina u najboljem slučaju.

Nisu sve (vodeće) kompanije bile uspješne u održavanju obećanja i vizija svojih automatski upravljanih vozila.

4.1. WAYMO

Waymo je prvi Googleov projekt automatski upravljanih vozila. 2009. godine tvrtka je izjavila da su se upustili u izazov autonomne vožnje koja se sastoji od desetak ruta gdje je cilj da vozilo neprekidno odvozi rute od stotinjak kilometara. Mjesecima kasnije, u svojoj projektnoj Toyoti Prius, uspješno su završili izazov. [18]



Slika 5. Autonomna Toyota Prius razvijena od tvrtke Google

Izvor: <https://waymo.com/company/>

2015. godine bilo je vrijeme za prvu autonomnu vožnju po cesti. Taj zadatak obavilo je vozilo Firefly. To vozilo imalo je prilagođene senzore, računala, upravljanje i kočenje, bez ugrađenoga volana i pedala. Te godine, Steven Mahan, slijepac, prvi je sjeo u Firefly vozilo i vozio se cestama Austina, Texas.



Slika 6. Firefly autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Google

Izvor: <https://www.autocarindia.com/car-news/google-set-to-retire-the-firefly-405151>

2016. godine Waymo je dobio status nezavisne tvrtke koja se bavi automatski upravljanim vozilima. Njihova misija bila je napraviti siguran i lagan transport ljudi i stvari.

2017. godine započeli su s projektom, pozivajući stanovnike Phoenixa, Arizone, da im se pridruže u prvom javnom testiranju autonomnih usluga prijevoza. Povratne informacije sudionika pomogle su im oblikovati tehnologiju, uslugu i iskustvo korisnika.

Godine 2018. u istom gradu, lansirali su prvu komercijalnu autonomnu uslugu prijevoza u svijetu pod nazivom Waymo One, koristeći vozila Chrysler Pacifica Hybrid. Uslugu se moglo naručiti preko njihove aplikacije Waymo One.



Slika 7. Chrysler Pacifica Hybrid autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Waymo

Izvor: <https://www.wired.com/story/waymo-launches-self-driving-minivans-fiat-chrysler/>

2021. godine dozvolili su nekolicini stanovnika San Francisca da koriste njihove usluge autonomnoga prijevoza, a zauzvrat, tražili su povratne informacije kako bi oblikovali budućnost prijevoza.

Početak 2022. godine, započeli su isporuku potpuno autonomnih vozila svojim zaposlenicima i javnosti putem liste čekanja. Tijekom te godine, postali su prva tvrtka koja nudi autonomnu uslugu 24 sata dnevno, bilo da je riječ o putovanju od zračne luke do željene destinacije ili obratno, nakon što su uspostavili vožnje na međunarodnom aerodromu Phoenix Sky Harbour.

U 2023. godine, objavili su da će Los Angeles biti sljedeći grad u kojem će uspostaviti uslugu autonomnoga prijevoza. Također, odlučili su se kompletno prebaciti na električna vozila, pa su se oprostili od Chrysler Pacifica Hybrid modela i odabrali Jaguar I-PACE kao predstavnika Waymo One usluge. U svibnju su proširili svoje teritorije koje pokriva Waymo One usluga, dodavši Scottsdale, čime sada pokrivaju preko 180 kvadratnih kilometara.



Slika 8. Jaguar I-PACE kao novi predstavnik tvrtke Waymo

Izvor: <https://waymo.com/blog/2019/08/meet-our-newest-self-driving-vehicle.html>

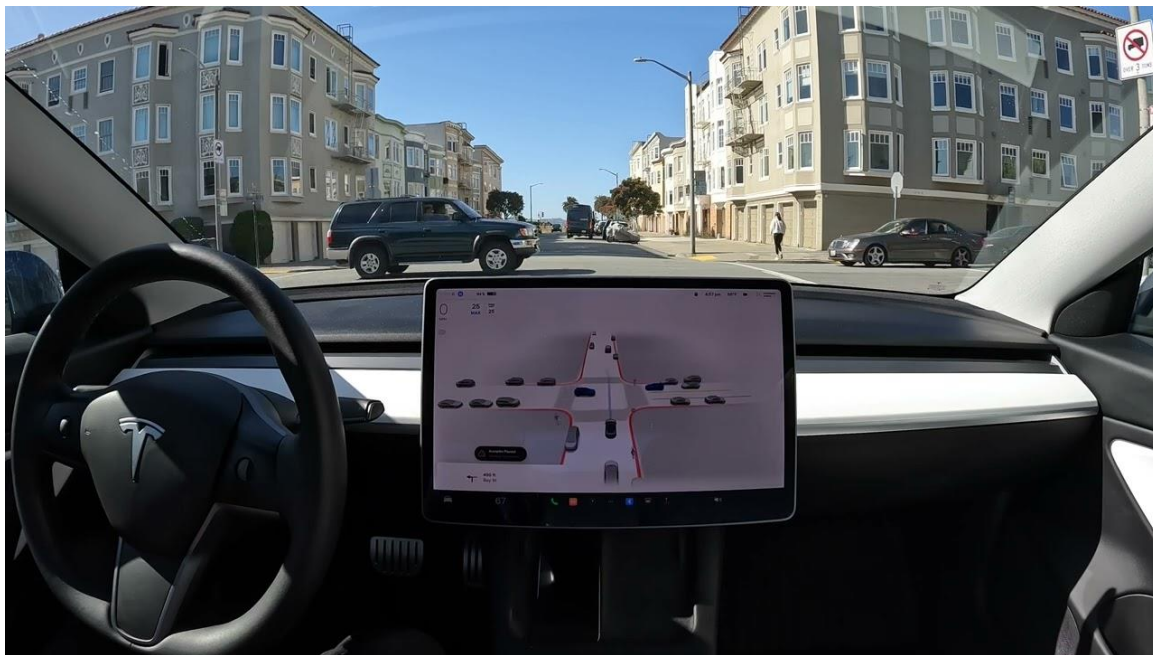
4.2. TESLA

Mnogi bi pomislili da će Tesla, jedan od najprepoznatljivih brendova električnih automobila u svijetu, biti prvi u uspješnoj izradi autonomnih vozila, s obzirom na njihovu dugu povijest u razvoju tehnologije autopilota. Međutim, to nije slučaj. Direktor tvrtke Tesla, Elon Musk, izjavio je da će svi modeli Teslinih vozila proizvedeni od 2016. godine nadalje imati mogućnost autonomne vožnje putem ažuriranja softvera u FSD (Full Self-Driving) način rada.

Unatoč tome što direktor tvrtke Tesla još nije ispunio svoje obećanje u potpunosti, uspješno su implementirali neke aspekte autonomne vožnje, kao što je prizivanje vozila s parkirnih mjesta. Krajem 2022. godine, FSD način rada bio je dostupan za sva Teslina vozila u Sjevernoj Americi koja su imala mogućnost autonomne vožnje. Iako je stotine tisuća ljudi koristilo Teslinu FSD tehnologiju, Nacionalna uprava za sigurnost prometa na cestama (NHTSA) objavila je da je potrebno pažljivo preispitati FSD tehnologiju Teslinih vozila jer su zabilježeni slučajevi na raskrižjima gdje vozilo vozi ravno unatoč traci koja omogućuje samo skretanje. [17]

S jedne strane, kritičari diljem svijeta govore da Teslin sustav autonomne vožnje nije u potpunosti siguran i apeliraju da se ljudi u potpunosti ne pouzdaju u Teslinu FSD tehnologiju, dok s druge strane, Teslini investitori skreću ljudima pozornost na činjenicu da što je više Teslinih modela koji podržavaju FSD tehnologiju na cesti, to će brže i bolje moći ukloniti sve nedostatke. Uz to, izjavili su da problem ne leži samo u softveru, već i u ljudima oko kojih softver treba navigirati.

Bez obzira na to što Tesla upozorava vozače da uvijek budu uključeni u vožnju prateći cestu, još uvijek proizvođač snosi posljedice prilikom nesreće. Tvrtka izjavljuje da rade na rješenju sigurnosnih problema i da je softver unaprijeđen do te mjere da se FSD način rada automatski isključuje ako vozač ne gleda na cestu ili ne drži ruke na volanu. Ipak, još uvijek obećavaju potpuno autonomna vozila u budućnosti.



Slika 9. Teslin FSD način rada u vožnji

Izvor: <https://www.carscoops.com/2022/05/tesla-full-self-driving-update-10-2-makes-big-changes-to-improve-user-experience/>

4.3. GENERAL MOTORS

Jedna od vodećih kompanija General Motors 2018. godine postavila je cilj ostvarenja svoje vizije da u svijetu više ne bude sudara, nesreća, štetnih emisija i životne opasnosti u vezi s prometom. Sigurnim razvojem električnih autonomnih vozila, svijet će se drastično promijeniti.

Njihova automatski upravljana vozila vozit će samo u zadanim granicama i samo na cestama gdje su razvili precizne i detaljne mape. Precizno prate ponašanje vozila i prikupljaju podatke o tome. Uz pomoć tih podataka, rade ažuriranja na softveru svakoga vozila kako bi se autonomna vožnja poboljšavala s vremenom. Drugim riječima, kada jedno vozilo prođe kroz nepoznati scenarij, ti se podaci šalju u operacijski centar i sva ostala vozila uče iz tih podataka.

Kao i Waymo, General Motors razvio je aplikaciju kojom se unutar određenoga područja može naručiti usluga autonomne vožnje. U svojoj aplikaciji, klijenti naručuju vožnje s unaprijed isplaniranim putem. Aplikacija General Motors razlikuje se od drugih po nekoliko značajki koje je moguće podesiti u aplikaciji. Daju mogućnost podešavanja klimatizacije i radio stanica prije nego što vozilo dođe na adresu. Unutar vozila omogućen je pristup tabletu koji sadrži trenutne informacije o vožnji, poput brzine vozila. Putnici mogu komunicirati s osobljem podrške pritiskom dugmeta. Nadalje, postoji i dugme koje se pritišće u nuždi, odnosno u slučaju da vožnju treba zaustaviti prije destinacije.

Tablet unutar vozila podsjeća putnike da zatvore vrata i zavežu sigurnosni pojas. Korisnička podrška ima mogućnost direktne komunikacije s vozilom te može intervenirati u sustave vozila u slučaju neispravnosti komponenata ili sustava. Nakon što vožnja završi, ako putnici zaborave zatvoriti vrata vozila pri izlasku, vozilo ima mogućnost napraviti to samostalno prije kretanja na sljedeću destinaciju.

Autonomna vozila tvrtke General Motors imaju sigurnosne značajke koje, u slučaju nužde, prebacuju vozilo u sigurno stanje. Ovakva zaštita uključuje se u slučaju neispravnoga funkcioniranja komponenata. Integrirana dijagnostika neprestano prati ključne parametre i sustave potrebne za sigurnu vožnju. Na temelju tih parametara, dijagnostika donosi odluku o prikladnoj obavijesti, koja može biti povezana s operativnim sustavom ili sigurnosnim sustavom.

U svrhu sigurnosti, svi kritični sustavi u vozilu imaju redundantnost. To uključuje dva računala (glavno i rezervno), dvije mreže na koje se računala spajaju i ostale mjere osiguranja. Svako računalo ima svoju dijagnostiku. Ovakav sustav izgrađen je s ciljem sigurnoga nastavka vožnje u slučaju kvara. Iako su već razvili sve potrebne sustave kako bi vozilo prošlo sve validacije i sigurnosne zahtjeve, nastavljaju s daljnjim razvojem novih senzorskih sustava, računala i ostalih komponenti kako bi maksimalno poboljšali sigurnost, funkcionalnost i dostupnost po povoljnoj cijeni. [22]



Slika 10. Cruise autonomno vozilo razvijeno od tvrtke General Motors

Izvor: <https://www.motortrend.com/news/meet-cruise-av-gms-first-production-ready-driverless-car/>

4.4. FORD I VOLKSWAGEN

Godine 2017. kompanija Ford uložila je jednu milijardu dolara u automatski upravljana vozila. Ford je podržavao tvrtku Argo AI. Volkswagen se pridružio 2019. godine kompaniji Ford u potpori tvrtke Argo AI za izradu autonomnih vozila. U svojem vrhuncu, Argo AI je dosegnuo vrijednost od 12,4 milijarde dolara, imao je preko 2000 zaposlenika te obavljao testiranja u 7 gradova i imao urede diljem svijeta.

Glavni cilj tvrtke Argo AI bio je dovesti potpuno autonomna vozila na tržište. U to vrijeme, tvrtka Ford suočavala se s kritikizmom vezanim za zaostajanje u električnim vozilima. Bitno je naglasiti da su tvrtke kao Ford, General Motors, Volkswagen, Toyota i sl. u očima revolucionara bile zastarjele tvrtke. Godine 2017. Teslin vrhunac na tržištu prešao je Fordov. To se dogodilo iako je Ford 2016. godine prodao deset puta više vozila nego Tesla. Prelazak u autonomna vozila činio se kao jedini logičan korak.

U 2019. godini, na vrhuncu svoje aktivnosti, tvrtka Argo AI objavila je plan da do kraja 2021. godine uvede potpuno autonomne taksije na tržište. Međutim, u listopadu 2022. godine tvrtka je zatvorena. Unatoč investiciji od preko 100 milijardi dolara u razvoj autonomnih vozila razine 4, njezin neuspjeh nije bio uzrokovan tehničkom stranom investicije, već poslovnom. Tehnološki gledano, razvijeni sustavi bili su funkcionalni i dobri, no u periodu od 2017. do 2022. godine, interes za autonomnim vozilima razine 4, koji je u

početku bio vrlo velik, opao je, što je dovelo do povlačenja mnogih investitora iz takvih projekata.

Iako poslovna strana kompanije nije uspjela, ipak su Ford i Volkswagen uspješno napravili automatski upravljano vozilo u svrhu autonomne taksi službe. [19]



Slika 11. Argo AI autonomno vozilo razvijeno od kompanija Ford i Volkswagen

Izvor: <https://jalopnik.com/this-is-why-self-driving-startup-argo-ai-is-shutting-do-1849711107>

Iako je Ford odustao od autonomnih vozila, to nije slučaj s Volkswagenom. U ožujku 2023. godine, nastavili su partnerstvo sa Izraelskom tvrtkom Mobileye koja se bavi razvojem tehnologije automatski upravljanih vozila. Uz to, suradnju imaju i sa tvrtkom Horizon Robotics, smještenoj u Kini, koja se bavi izradom procesora visokih performansi i računalnim platformama. Projekt na kojem rade je električni kombi nazvan ID Buzz.



Slika 12. ID Buzz autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Volkswagen

Izvor: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/id-buzz-7743>

4.5. UBER

Uber je tvrtka koja se prvenstveno bavi prijevozom putnika, a osnovana je 2009. godine u SAD-u. Danas je najveća platforma i usluga za prijevoz putnika. U 2015. godini, tvrtka je počela osjećati zabrinutost zbog moguće prijetnje koju autonomna vozila predstavljaju za poslovni model Ubera pa su odlučili usmjeriti svoj fokus na razvoj vlastitoga projekta autonomnih vozila. Dvije godine nakon, Waymo je tužio Uber za krađu informacija. Nakon više milijunske nagodbe, Uber je prekinuo svoje autonomne projekte te je do kraja 2020. godine prodao dio tvrtke koji se bavio tehnologijom automatskih vozila.

Nakon toga, Uber je pokrenuo partnerstvo s tvrtkom Motional koja se bavi tehnologijom autonomnih vozila. U Las Vegasu ljudi mogu koristiti Uber aplikaciju i prizvati autonomno vozilo (sa sigurnosnim operaterom iza volana) kao uslugu vožnje. Iako partnerstvo između Ubera i Motionala nije trajalo deset godina, kao što su prvotno najavili, njihov zajednički rad doveo je do uspjeha u razvoju autonomnog vozila kroz preradu Hyundai Ioniq modela. [20]

2023. godine Uber se udružio s tvrtkom Waymo, prijašnjom konkurencijom. Potpuno automatska vožnja polako postaje dio svakodnevnog života, a tvrtka Waymo htjela je spojiti svoju tehnologiju automatski upravljanih vozila s Uberovom ogromnom platformom korisnika. Do kraja 2024. godine planiraju staviti na cestu deset puta više vozila.

Od 2022. godine, tvrtka Waymo posjeduje između 300 i 400 autonomnih vozila u Phoenixu, što ih obvezuje na značajno povećanje proizvodnje kako bi ostvarili svoju misiju. Trenutno, samo San Francisco i Los Angeles imaju mogućnost korištenja njihove autonomne usluge prijevoza. Međutim, kako tvrtka Waymo nastavlja rasti i razvijati se, može se očekivati da će Uberova autonomna usluga rasti zajedno s njom.



Slika 13. Autonomni Hyundai Ioniq razvijen od tvrtke Uber u partnerstvu s tvrtkom Motional

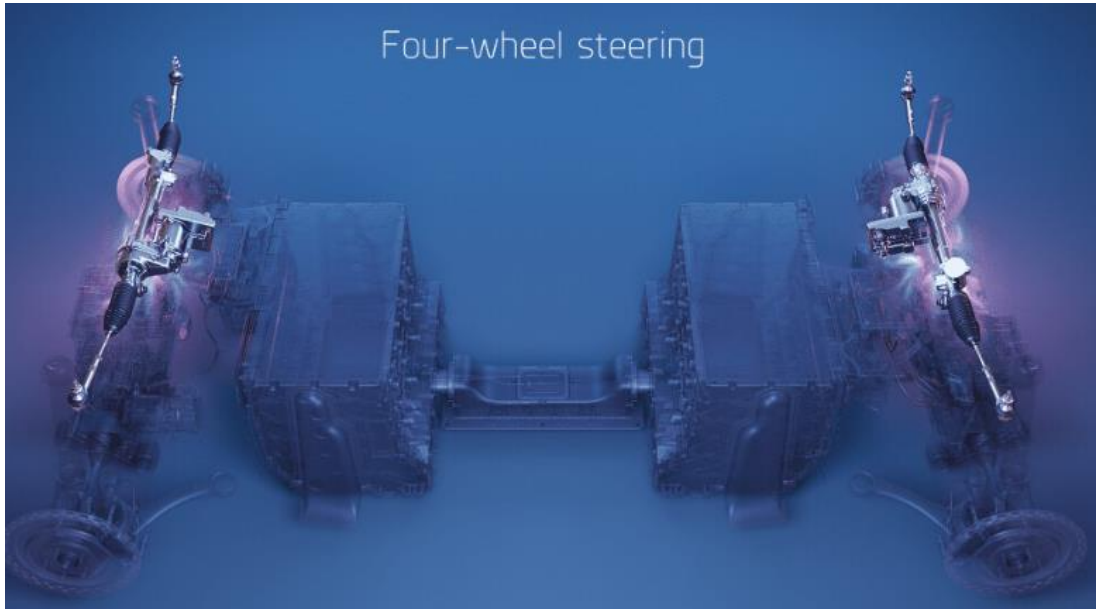
Izvor: <https://www.autodaily.com.au/uber-uses-self-driving-hyundai-ioniq-fleet-in-las-vegas/>

4.6. AMAZON

Amazon je online maloprodajna tvrtka koja vrši dostave proizvoda s njihove stranice diljem svijeta. 2020. godine odlučili su se uključiti u svijet autonomne vožnje i otkupili su kompaniju Zoox za 1,3 milijardi dolara. Specifičnost ovog vozila leži u tome što je Zoox autonomno vozilo izgrađeno potpuno od nule, dok su vozila drugih kompanija obično modificirana od već postojećih automobila. Automatski upravljano vozilo napravljeno u svrhu usluge prijevoza dolazi bez volana i pedala za ubrzavanje i kočenje, a može prevoziti sveukupno četiri putnika gdje dva sjede jedan nasuprot drugoga.

Svoje testiranje obavili su u Kaliforniji. Stavljanje vozila na cestu i validacija funkcionalnosti, regulatornih izazova i pristup projektu autonomnoga vozila pokazalo se uspješnim. Cilj im je izaći na tržište s vozilima, za što moraju čekati vlade svijeta da provedu odgovarajuće zakone. Njihovu uslugu autonomnoga prijevoza do sada su imali mogućnost probati samo zaposlenici.

Zoox je tvrtka koja se odlučila usmjeriti prema specifičnostima svojih vozila, što im je pružilo mogućnost eksperimentiranja s novim idejama i konstrukcijom vozila. Jedna od njihovih istaknutih ideja je sposobnost okretanja svih četiri kotača, što vozilu omogućuje da se lako snalazi u najužim ulicama i obavlja najteže skretanje bez ikakvih problema. [21]



Slika 14. Izvedba kojom je omogućeno okretanje svih kotača na Zoox autonomnom vozilu

Izvor: <https://zoox.com/vehicle/>

Uz to, vozilo sadrži bateriju snage 133 kWh uz koju je omogućena cjelodnevna vožnja. Dva elektromotora nalaze se s prednje i stražnje strane i time je osigurana redundancija kako bi se u slučaju kvara jednoga od elektromotora moglo stići do kraja destinacije. Vozilo, također, može vidjeti u svim smjerovima oko sebe na daljini od 150 metara, a može čak i vidjeti što se nalazi iza ugla. Dakle, ima mogućnost vidjeti vozila koja nailaze prije nego što bi ih ljudsko oko uočilo.



Slika 15. Zoox autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Amazon

Izvor:https://s.yimg.com/uu/api/res/1.2/UUpS2i49w_KIQbLah0m3qA--~B/Zmk9ZmlsbDtoPTU4NDt3PTg3NTthcHBpZD15dGFjaHlvbg--/https://media-mbst-pub-ue1.s3.amazonaws.com/creatr-uploaded-images/2023-02/08548510-ac63-11ed-bfed-c164c940cc9a.cf.jpg

5. ZAKLJUČAK

Osim Volkswagena, ostale tvrtke još uvijek razvijaju autonomnost razine 4. Waymo i GM Cruise za sada su vodeće kompanije koje se ističu u svijetu automatski upravljanih vozila. Jedan od najpoznatijih proizvođača električnih vozila, čiji je direktor obećao mogućnost autonomne vožnje prije više od sedam godina, nažalost, nije ispunila svoje obećanje i njihov FSD način rada se prema riječima kritičara smatra najgorim pokušajem autonomne tehnologije. Navodi se kako Tesla nije ni blizu tehnologije koja je potrebna da vozilo bude samoupravljujuće, već da tehnologija odgovara razini 2 autonomnosti.

Waymo je prva tvrtka koja je uspjela razviti potpuno funkcionalno autonomno vozilo. Iako vozila nisu na tržištu za prodaju, nude usluge prijevoza automatski upravljanim vozilima, što je i dalje ogroman korak prema budućnosti. Waymo nudi usluge na području San Francisca, Phoenixa i Los Angelesa. U siječnju 2023. godine obilježili 1 milijun prijeđenih kilometara autonomnim vozilima.

General Motors svoje je autonomno vozilo Cruise predstavilo javnosti u lipnju 2022. godine na području San Francisca, a zatim su potvrdili svoje planove za proširenje u Austin i Phoenix. Ova je tvrtka, također, prešla 1 milijun kilometara svojim automatski upravljanim vozilima.

Blizu vrha je i Izraelska tvrtka Mobileye, koja se bavi samo izradom tehnologije za automatski upravljana vozila. Njihov plan nije posjedovati i kontrolirati flote autonomnih vozila, već žele biti vodeća kompanija u prodaji tehnologije za takva vozila.

Tvrtka General Motors snažno se posvetila razvoju svoga modela autonomnoga vozila, poznatoga kao Cruise. Njihov glavni cilj je postići prihod od 1 milijarde dolara do 2025. godine, što zahtijeva prijeđenih 400 milijuna kilometara u vožnji, uz naplatu usluge sličnu današnjim manualnim prijevozima. Pretpostavlja se da će vozila raditi 20 sati dnevno, a ostatak vremena bit će utrošen na punjenje, održavanje, čišćenje i slično. Za postizanje tog cilja, Cruise će trebati između 5 500 i 6 000 funkcionalnih vozila do 2025. godine.

Pretpostavlja se da tvrtka General Motors, ako i postigne svoj cilj, neće ostvariti velik profit, a može doći do gubitka potpore svojih investitora. Također, do 2030. godine, očekuje se da će na globalnoj razini biti aktivno ne više od sedam kompanija koje se bave autonomnim vozilima.

Tvrtka Amazon, s druge strane, otvorila je vrata ideji komercijalnih usluga autonomnoga prijevoza na području Kalifornije, ali cilj im i dalje ostaje izaći na tržište sa svojim vozilima kada to bude bilo moguće.

Dalo bi se zaključiti da je većina vodećih tvrtki već razvila svoje tehnologije autonomnih vozila te da čekaju da vlade svijeta donesu sve potrebne zakone i regulacije kojim bi automatski upravljana vozila bila dostupna svakom kućanstvu kako bi se napravio sljedeći korak prema potpuno autonomnoj budućnosti.

LITERATURA

KNJIGE

- [1] Marr, B. 2022, Umjetna inteligencija u praksi, *Kako je 50 uspješnih tvrtki iskoristilo umjetnu inteligenciju i strojno učenje za rješavanje problema*, Mate d.o.o, Zagreb
- [2] Jurgen, R. K. 2013, Autonomous Vehicles and V2V/V2I Communications Set, vol. 1, SAE International
- [3] Školska knjiga, 2017, Veliki englesko-hrvatski rječnik, Školska knjiga, Zagreb

ELEKTRONIČKI IZVORI

AKADEMSKI ČLANCI:

- [4] Talebpour A. Mahmassani H. S., 2016, Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput, Elsevier, Transportation Research Part C: Emerging Technologies,
online:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X16301140> (10.05.)
- [5] WuLing H. et al. 2016, Autonomous Vehicles Testing Methods Review, IEEE,
online:https://scholar.google.hr/scholar_url?url=https://www.researchgate.net/profile/Feng_hua-Zhu/publication/311919670_Autonomous_vehicles_testing_methods_review/links/60936d40a6fdccaebd0de572/Autonomous-vehicles-testing-methods-review.pdf&hl=hr&sa=X&ei=C-CeZNuIN8r2mgHQrLCwCQ&scisig=ABFr3wkqXNHwWsHU_Ko6hfdGUFi&oi=scholar
(27.05)
- [6] Koopman P. Osyk B. Weast J. 2019, Autonomous Vehicles Meet the Physical World: RSS, Variability, Uncertainty, and Proving Safety, Newcastle university, UK,
online:https://scholar.google.hr/scholar?q=physical+safety+in+autonomous+vehicles&hl=hr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar#d=gs_qabs&t=1688145596935&u=%23p%3D4n-a38lKy2gJ (01.06)

- [7] Hevelke A. Nida-Rumelin J. 2014, Responsibility for Crashes of Autonomous Vehicles: An Ethical Analysis, Springer Link,
online:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-014-9565-5> (01.06.)
- [8] Kyounggon K. et al. 2021, Cybersecurity for autonomous vehicles: Review of attacks and defense, Elsevier, Computers & Security,
online:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167404820304235> (01.06.)
- [9] Costantini F. et al. 2020, Autonomous vehicles in a GDPR era: An international comparison, Elsevier,
online:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2543000920300081> (05.06.)

WEB STRANICE:

- [10] <https://www.bbva.ch/en/news/the-history-of-autonomous-vehicles-how-they-have-evolved-since-the-first-prototypes/> (10.05.)
- [11] <https://medium.com/nerd-for-tech/a-brief-analysis-of-the-four-key-technologies-of-autonomous-driving-part-1-4027510e1f88> (22.05.)
- [12] <https://www.itransition.com/blog/autonomous-vehicle-sensors> (22.05.)
- [13] <https://www.aberdeen.com/blog-posts/tech-legal-challenges-autonomous-car-industry-facing/> (01.06.)
- [14] <https://cyberstartupobservatory.com/cyber-security-connected-autonomous-vehicles/> (05.06.)
- [15] <https://www.dataprotectionreport.com/2017/07/the-privacy-implications-of-autonomous-vehicles/> (05.06.)
- [16] <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/a-new-look-at-autonomous-vehicle-infrastructure> (05.06.)
- [17] <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/news/366542561/Tesla-full-self-drive-software-and-autonomous-vehicle-safety> (21.06.)
- [18] <https://waymo.com/> (21.06.)

[19] <https://www.wired.com/story/ford-abandons-the-self-driving-road-to-nowhere/>
(01.07.)

[20] https://www.freethink-com.cdn.ampproject.org/v/s/www.freethink.com/transportation/autonomous-cars?amp=1&_gsa=1&_js_v=a9&usqp=mq331AQIUAKwASCAAgM%3D#amp_tf=Izvor%3A%20%251%24s&aoh=16884903506377&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&share=https%3A%2F%2Fwww.freethink.com%2Ftransportation%2Fautonomous-cars (12.07.)

[21] <https://www.theguardian.com/technology/2023/feb/14/amazon-tests-robotaxis-zoox-california> (12.07.)

[22] <https://www.gm.com/content/dam/company/docs/us/en/gmcom/gmsafetyreport.pdf>
(21.06.)

[23] <https://valientemott.com/auto-collisions/self-driving-cars-pros-and-cons/> (10.06.)

KAZALO KRATICA

Kratika	Puni naziv na stranom jeziku	Puni naziv na hrvatskom jeziku
2D	Two dimension	Dvodimenzionalno
3D	Three dimension	Trodimenzionalno
ASCE	American Society of Civil Engineers	Američko Društvo Civilnih Inženjera
C-V2X	Cellular Vehicle-to-everything	Stanično Vozilo-prema-svemu
DSRC	Dedicated Short Range Communications	Predana Kratko Udaljena Komunikacija
EDR	Event Data Recorder	Zapisnik Podataka o Događaju
EU	European Union	Europska Unija
FSD	Full Self Drive	Potpuna Samostalna Vožnja
GDPR	Global Data Protection Regulation	Regulacija Globalne Zaštite Podataka
GHz	Giga Hertz	Giga Hertz
GPS	Global Positioning Device	Sustav Globalnog Pozicioniranja
HIL	Hardware-in-the-loop	Hardver-u-petlji
ltd.		I tako dalje
I sl.		I slično
IVFC	Intelligent Vehicle Future Challenge	Budući Izazov Inteligentnih Vozila
IoT	Intraner of Things	Intranet Stvari
LiDAR	Light Detection and Ranging	Svjetlosna detekcija i Mjerenje Udaljenosti
Npr.		Na primjer
Radar	Radio Detection and Ranging	Radio Detekcija i Mjerenje Udaljenosti
RSS	Responsibility-Sensitive Safety	Odgovornost-Osjetljiva Sigurnost
SAE	Society of Automotive Engineers	Društvo Automobilskih Inženjera
SIL	Software-in-the-loop	Softver-u-petlji
SAD		Sjedinjene Američke Države
USA	United States of America	Sjedinjene Američke Države
V2I	Vehicle-to-Infrastructure	Vozilo-prema-Infrastrukturi
V2V	Vehicle-to-Vehicle	Vozilo-prema-Vozilu
XIL	X-in-the-loop	X-u-petlji

POPIS SLIKA

- Slika 1. Senzori i senzorski sustavi u automatsko upravljanoj vozilu, str. 5
- Slika 2. M-City centar za testiranje automatski upravljanih vozila u Michiganu, str. 10
- Slika 3. Prikaz jednadžbe i računanja minimalne udaljenosti RSS modela, str. 12
- Slika 4. Funkcija retro reflektirajućih linija, str. 15
- Slika 5. Autonomna Toyota Prius razvijena od tvrtke Google, str. 18
- Slika 6. Firefly autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Google, str. 19.
- Slika 7. Chrysler Pacifica Hybrid autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Waymo, str. 20
- Slika 8. Jaguar I-PACE kao novi predstavnik Waymo One usluge autonomnog prijevoza, str. 21
- Slika 9. Teslin FSD način rada u vožnji, str. 22
- Slika 10. Cruise autonomno vozilo razvijeno od tvrtke General Motors, str. 24
- Slika 11. Argo AI autonomno vozilo razvijeno od kompanija Ford i Volkswagen, str. 25
- Slika 12. ID Buzz autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Volkswagen, str. 26
- Slika 13. Autonomni Hyundai Ioniq razvijen od tvrtke Uber u partnerstvu s tvrtkom Motional, str. 27
- Slika 14. Izvedba kojom je omogućeno okretanje svih kotača na Zoox autonomnom vozilu, str. 28
- Slika 15. Zoox autonomno vozilo razvijeno od tvrtke Amazon, str. 29

