

Pametna vozila u logistici

Čubranić, Niko

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:187:813992>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



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**

NIKO ČUBRANIĆ

**PAMETNA VOZILA U LOGISTICI
ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**PAMETNA VOZILA U LOGISTICI
SMART VEHICLES IN LOGISTICS**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Održiva logistika

Mentor: Edvard Tijan

Student: Niko Čubranić

Studijski smjer: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112086805

Rijeka, lipanj 2024.

Student: Niko Čubranić

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112086805

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
Pametna vozila u logistici

izradio/la samostalno pod mentorstvom
Prof. dr. sc. Edvard Tijan

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezo/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Niko Čubranić

Student: Niko Čubranić
Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu
JMBAG: 0112086805

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



SAŽETAK

Ovaj rad istražuje integraciju pametnih vozila u logističke sustave, s posebnim naglaskom na autonomna vozila. Kroz analizu logistike i koncepta pametnih automobila, rad se bavi razinama autonomije te upravljačkim sustavima kao što su 5G mreža i V2X tehnologija. Također se razmatraju prednosti i nedostaci autonomnih vozila, uključujući sigurnosne aspekte, efikasnost i tehnološke izazove. Proučeni su i primjeri autonomnih vozila, s naglaskom na Tesla i Waymo, kao i primjena autonomnih autobusa u modernom prometu.

Ključne riječi: Pametna vozila, autonomna vozila, logistika, 5G mreža, V2X tehnologija, Tesla, Waymo, autonomni autobusi.

SUMMARY

This paper explores the integration of smart vehicles into logistics systems, with a focus on autonomous vehicles. Through the analysis of logistics and the concept of smart cars, the paper addresses levels of autonomy and control systems such as 5G networks and V2X technology. It also examines the advantages and disadvantages of autonomous vehicles, including safety aspects, efficiency, and technological challenges. Examples of autonomous vehicles are studied, with a focus on Tesla and Waymo, as well as the application of autonomous buses in modern transportation.

Keywords: Smart vehicles, autonomous vehicles, logistics, 5G network, V2X technology, Tesla, Waymo, autonomous buses.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
1.1. Predmet istraživanja	2
1.2. Ciljevi istraživanja.....	2
1.3. Metodologija rada.....	2
2. POJAM PROMETA	3
2.1. Logistika	4
3. KONCEPT PAMETNOG AUTOMOBILA.....	6
3.1. RAZINE AUTONOMIJE.....	6
4. UPRAVLJAČKI SUSTAVI AUTONOMNIH VOZILA	9
4.1. Senzorski sustav	10
4.2. Radar.....	11
4.3. LIDAR	12
4.4. Računalni vid.....	14
4.5. GPS.....	15
5. PREDNOSTI I NEDOSTACI AUTONOMNIH VOZILA.....	17
5.1. Prednosti autonomnih vozila	17
5.2. Nedostaci autonomnih vozila	18
6. PRIMJERI AUTONOMNIH VOZILA	23
6.1. Autonomni automobili.....	23
6.2. Tesla.....	25
6.3. Waymo.....	26
6.4. Autonomni autobusi	28
ZAKLJUČAK.....	30
POPIS LITERATURE:	31
POPIS SLIKA:	33

1. Uvod

Razvoj tehnologije posljednjih desetljeća doveo je do značajnih promjena u različitim industrijama, uključujući i logistiku. Pametna vozila, posebno autonomna vozila, predstavljaju jedan od najvažnijih inovacija u ovom području. Njihova integracija u logističke sustave donosi brojne prednosti kao što su povećana sigurnost, efikasnost i smanjenje troškova. Uvođenje pametnih vozila može revolucionirati načine na koje se roba transportira, skladišti i distribuira, omogućujući bržu i pouzdaniju dostavu.

Ovaj rad istražuje koncept pametnih vozila i njihov utjecaj na logistiku. Kroz analizu logističkih procesa i tehnoloških inovacija, rad se fokusira na različite razine autonomije vozila te na ključne tehnologije poput 5G mreža i V2X komunikacijskih sustava. Posebna pažnja posvećena je upravljačkim sustavima autonomnih vozila koji omogućuju komunikaciju vozila s infrastrukturom i drugim vozilima, čime se dodatno povećava sigurnost i efikasnost prometnih tokova.

Također se razmatraju prednosti i nedostaci uvođenja autonomnih vozila, s posebnim osvrtom na sigurnosne aspekte, operativnu učinkovitost i izazove s kojima se suočava ova tehnologija. Prednosti uključuju smanjenje ljudske pogreške, optimizaciju ruta i uštede u potrošnji goriva, dok se nedostaci odnose na tehničke poteškoće, visoke troškove implementacije i regulatorne prepreke.

Primjeri konkretnih autonomnih vozila, kao što su Tesla i Waymo, te autonomni autobusi, pružaju uvid u trenutnu primjenu i potencijalni razvoj pametnih vozila u budućnosti. Tesla i Waymo pioniri su u razvoju autonomnih tehnologija i njihova rješenja već sada pokazuju značajne prednosti u praksi. Autonomni autobusi, s druge strane, nude mogućnost poboljšanja javnog prijevoza smanjenjem troškova i povećanjem učinkovitosti.

Kroz detaljnu analizu i studije slučaja, ovaj rad nastoji dati sveobuhvatan pregled trenutnog stanja i budućih trendova u području pametnih vozila u logistici.

1.1. Predmet istraživanja

Uloga pametnih vozila u logistici je tema ovog završnog rada. Fokusira se na istraživanje kako implementacija pametnih vozila može optimizirati različite aspekte logističkih operacija, uključujući efikasnost, sigurnost, troškove i održivost transporta. Kroz analizu dostupne literature, studija slučajeva i primjera iz prakse, istražuje se utjecaj pametnih vozila na procese praćenja, rute, upravljanja vozilima te na smanjenje troškova prijevoza i poboljšanje vremena isporuke. Također, istražuje se njihov potencijalni utjecaj na smanjenje emisije CO₂ i na održivost logističkih operacija.

1.2. Ciljevi istraživanja

Istraživanja uključuju kako implementacija pametnih vozila može unaprijediti učinkovitost logističkih operacija, analizu njezinog utjecaja na sigurnost pri transportu robe i tereta, istraživanje potencijala smanjenja ukupnih troškova logističkih operacija kroz primjenu pametnih vozila, utvrđivanje kako pametna vozila mogu optimizirati vrijeme isporuke proizvoda i roba, te procjenu doprinosa pametnih vozila u smanjenju emisije CO₂ i promicanju održivosti u logističkom sektoru.

1.3. Metodologija rada

U istraživanju korištene su raznovrsne metode prikupljanja i analize podataka kako bi se osigurala sveobuhvatnost i točnost rezultata. Primarni izvor informacija za ovaj rad uključuje stručnu literaturu, znanstvene članke, tehničke izvještaje, te relevantne knjige i publikacije koje pokrivaju teme autonomnih vozila, logistike, 5G tehnologije i sustava upravljanja vozilima.

Osim literature, korišteni su i brojni online izvori. Web stranice vodećih proizvođača autonomnih vozila, tehnoloških kompanija, kao i istraživačkih institucija i sveučilišta, pružile su dragocjene podatke i najnovije informacije o trenutnim trendovima, inovacijama i izazovima u području pametnih vozila. Također, pregledani su izvještaji regulatornih tijela i industrijskih udruženja kako bi se razumjeli pravni i sigurnosni aspekti implementacije autonomnih vozila.

2. POJAM PROMETA

Promet u najužem smislu predstavlja kompleksan skup aktivnosti povezanih s prijevozom robe i ljudi, kao i svim pratećim komunikacijskim operacijama. On se ne sastoji samo od fizičkog kretanja, već obuhvaća i prometnu infrastrukturu koja omogućava proizvodnju prometnih usluga. Sustav prometa, kako nacionalni tako i međunarodni, ključan je za optimalno funkcioniranje ekonomskih sustava na svim razinama, jer integrira proizvodnju, distribuciju, razmjenu i potrošnju dobara.

Tradicijski oblici prometa često su ograničeni na lokalnu razinu i imaju sporednu ulogu u gospodarstvu, dok kombinirani i multimodalni prijevozi dominiraju u modernim ekonomijama. Razvoj znanosti, tehnike i tehnologije u proteklim desetljećima ključno je utjecao na prometni sektor, stvarajući dinamično okruženje koje zahtijeva konstantno prilagođavanje. Nova tehnološka otkrića, poput kontejnerizacije i multimodalnih tehnologija, ubrzavaju i olakšavaju prometne procese, pružajući pozitivan doprinos efikasnosti transportnih sustava.¹

U kontekstu suvremene proizvodnje, tržišne ekonomije i globalne razmjene dobara i usluga, nacionalna i svjetska tržišta, uključujući i tržišta prometnih i prijevoznih usluga, postaju središta sukoba i suradnje među različitim društveno-ekonomskim sustavima s različitim razinama razvijenosti. Odnos ponude i potražnje, u kombinaciji s inovacijama u tehničkim rješenjima i proširenjem prometne ponude, generira rastuću potražnju za prijevozom i prometnim uslugama, što oblikuje međusobno povezan i neprekidan proces.

Znanost koja se bavi postizanjem optimalne učinkovitosti prometnog sustava poznata je kao tehnologija prometa. Ova disciplina je interdisciplinarna po svojoj prirodi, jer uključuje istraživanje specifičnih znanstvenih područja, ali je isto tako i multidisciplinarna, jer se bavi proučavanjem različitih aspekata proizvodnje prometnih usluga i njihovih procesa.²

¹ Zelenika R., Jakomin L. 1995., Suvremeni transportni sustavi, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci; Tipograf d.d, Rijeka, str. 15, 16

² Zelenika R. 2001., Prometni sustavi, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, str. 52

2.1. Logistika

Logistika, obuhvatna i dinamična disciplina, svoje korijene ima u raznim jezicima: grčkom (logistikos - promišljanje, logično razmišljanje), latinskom (logisticus - račun i rezoniranje u matematičkom smislu) te francuskom (loger - stanovanje, smještaj). Suvremeno shvaćanje logistike proizašlo je iz logičnog promišljanja, praktičnih vještina računanja, financijskog praćenja zaliha i distribucije životnih potrepština, te pružanja smještaja i opskrbe u različitim životnim situacijama. Stoga, logistika predstavlja disciplinu koja istražuje najoptimalnije načine opskrbe potrošača ili tvrtki ključnim sirovinama ili proizvodima, s ciljem skraćivanja vremena putovanja, povećanja sigurnosti i minimiziranja troškova po jedinici puta. Logistika obuhvaća složen niz procesa, čiji su odnosi međusobno povezani i čine cjelinu u kojoj svaki aspekt ovisi o drugima.

Njezina primarna funkcija kroz povijest bila je vojna, gdje je obuhvaćala planiranje kretanja trupa, odabir lokacija za postavljanje kampa, te regulaciju transporta i opskrbe. Već je Napoleonov bivši časnik, temeljem iskustva koje je stekao kao vojnik, definirao logistiku kao vještinu koja pokreće vojsku, podrazumijevajući pod pomicanjem ne samo fizičko kretanje, već i upravljanje i uvođenje razmišljanja u pokretanje i održavanje vojne spremnosti. Tijekom Drugog svjetskog rata, u angloameričkim jezicima logistika se definirala kao planiranje i upravljanje procesima opskrbe vojnih trupa.

Prvi veliki skok u razvoju logistike dogodio se krajem Drugog svjetskog rata s razvojem računalne tehnologije, što je omogućilo kombiniranje metodologija optimalnih troškova i znatno povećanje učinkovitosti računala, te razvoj novih disciplina poput operacijskih istraživanja, kojima se odgovara na probleme u transportu, poput pronalaženja najkraćih ruta dostave sirovina, upravljanja inventarom, problema lociranja i nadzora. Početkom 1970-ih, pojam logistike počeo se primjenjivati u znanstvenom i praktičnom kontekstu svih disciplina koje proučavaju kretanje informacija, ljudi i energije.³

Tada se termin "logistika" počeo podijeliti na vojnu logistiku, koja se bavila kretanjem vojnih trupa i opskrbom robe u vojne svrhe, i poslovnu logistiku, koja je uključivala kretanje robe te donošenje odluka usmjerenih na socijalne i tehničko-ekonomske ciljeve. Prema definiciji Europske logističke organizacije, logistika se definira kao organizacija, planiranje, kontrola i izvršenje toka robe od mjesta nastanka do mjesta prodaje, kroz proizvodnju i distribuciju do

³ Jolić N., Logistika i ITS, 2006., Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 19

krajnjeg korisnika, s ciljem zadovoljenja tržišnih zahtjeva uz minimalne troškove i investicije. Ova definicija naglašava složenost logistike kao discipline i potrebu za multidisciplinarnim pristupom u njezinom proučavanju.

Svaki proces u logistici zahtijeva zaseban pristup, uzimajući u obzir tehničke, tehnološke, organizacijske, ekonomske i pravne aspekte, te nakon toga analiziranje kao dio cjeline kako bi se optimizirala međusobna ovisnost. U širem smislu, logistika također obuhvaća povratnu logistiku, koja se bavi upravljanjem otpadnim materijalima i nusproizvodima iskorištenih sirovina i proizvoda.⁴

⁴ Hlača B., Lučka logistika, 2016., Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, str. 43

3. KONCEPT PAMETNOG AUTOMOBILA

Pametna vozila, poznata i kao autonomni automobili, predstavljaju vozila koja su sposobna voziti i kretati se bez prisutnosti ljudskog vozača. Centralni element autonomnih vozila su senzori koji omogućuju detekciju i tumačenje okoline. Ovi senzori uključuju kamere za vizualno snimanje, infracrvene senzore za noćnu vožnju, LIDAR senzore za precizno trodimenzionalno mapiranje okoline korištenjem laserskih zraka, RADAR senzore za detekciju objekata i njihovu brzinu na temelju odraza radiovalova te magnetske senzore za detekciju promjena u magnetskom polju.⁵

Algoritmi upravljanja imaju ključnu ulogu u prikupljanju podataka sa senzora, povezivanju tih podataka te u donošenju odluka o upravljanju, brzini i kočenju. Najizazovniji aspekt autonomnih vozila je razvoj algoritama koji moraju učinkovito rješavati različite situacije tijekom vožnje, bilo da su jednostavne ili složene.

Autonomna vozila koriste aktuatorne, kompleksne algoritme, sustave strojnog učenja, senzore i moćne procesore kako bi izvršavala softverske zadatke. Senzori prikupljaju podatke i šalju ih elektroničkoj upravljačkoj jedinici, koja zatim donosi odluke na temelju programskog koda. Upravljačka jedinica potom šalje signale aktuatorima, koji imaju zadatak upravljanja i kontroliranja različitih funkcija vozila.⁶

3.1. RAZINE AUTONOMIJE

Društvo automobilskih inženjera (SAE) trenutno definira 6 razina automatizacije vožnje, počevši od razine 0 (potpuno ručno upravljanje) do razine 5 (potpuno autonomna vožnja). Ove razine su usvojene i od strane Ministarstva prometa Sjedinjenih Američkih Država. SAE preferira termin "automatiziran" umjesto "autonomno", između ostalog, zbog šireg značenja koje autonomija ima izvan konteksta elektromehanike. Koncept potpuno autonomnog vozila implicira samosvijest i sposobnost donošenja vlastitih odluka. Na primjer, ako bi vozilo dobilo naredbu da odveze putnika na posao, potpuno autonomno vozilo bi moglo odlučiti odvesti

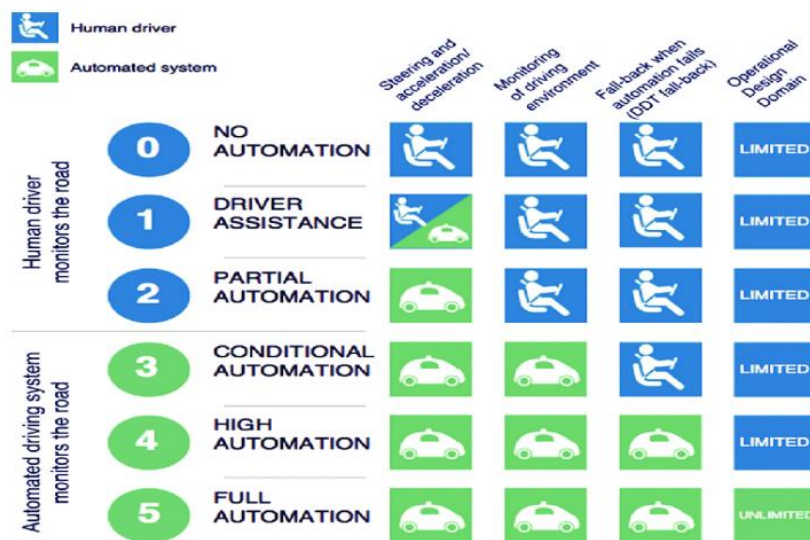
⁵ Barać, A.: Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021., p.2

⁶ Barać, A.: Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021., p.2

putnika na plažu umjesto toga. S druge strane, potpuno automatizirano vozilo bi slijedilo naredbe bez odlučivanja i odvelo bi putnika na posao, bez obzira na bilo kakve alternativne opcije.⁷

Na slici 1. prikazane su razine automatizacije. Primjetno je da do druge razine čovjek i dalje ima većinsku kontrolu nad vozilom, dok od treće razine automatizacije nadalje vozilo preuzima većinu odluka i komandi.

Slika 1. Razine autonomije vozila



Izvor: : https://www.researchgate.net/figure/SAE-J3016-levels-of-drivingautomation_fig1_339371847

Na razini 0, vozilo ne posjeduje značajke automatizirane vožnje, ali to ne isključuje mogućnost prisutnosti pomoćnih sustava za vožnju. Vožnja je u potpunosti u rukama vozača, no vozilo može biti opremljeno sustavom koji pruža trenutačnu asistenciju tijekom vožnje, kao što su upozorenja ili hitne sigurnosne akcije. Vozač je stoga odgovoran za sve operacije vozila, uključujući kočenje, upravljanje, ubrzavanje itd. Ovi sustavi uključuju funkcije poput ABS (Anti-lock Brake System), ESP (Electronic Stability Program), upozorenja na mrtvi kut,

⁷ Ibid, str. 21

automatsko kočenje u nuždi, upozorenja na frontalni sudar i upozorenja o napuštanju trake. Većina vozila u prometu danas i dalje pripada razini 0 automatizacije.⁸

Prelaskom na razinu 1, ulazimo u područje vozila opremljenih sustavom koji pruža stalnu asistenciju tijekom ubrzavanja, kočenja i upravljanja, dok vozač ostaje uključen i pažljiv. U ovom scenariju, vozač ima odgovornost upravljati vozilom i nadzirati sustav, koji, kada je aktiviran, može obavljati funkcije upravljanja, ubrzanja i kočenja. Primjer razine 1 automatizacije je prilagodljivi tempomat ACC (Adaptive Cruise Control), koji održava sigurnu udaljenost između vašeg vozila i vozila ispred bez potrebe za intervencijom vozača.

Djelomična automatizacija na razini 2 obuhvaća vozila opremljena naprednim sustavima za pomoć u vožnji ADAS (Advanced Driving Assistance System). Ovi sustavi pružaju stalnu asistenciju u pogledu ubrzanja, kočenja i upravljanja, dok vozač ostaje u potpunosti angažiran i sposoban preuzeti kontrolu nad vozilom, posebno u situacijama koje zahtijevaju kombiniranu longitudinalnu i lateralnu kontrolu.

Razina 3 poznata je kao automatizacija uvjetne vožnje, gdje putnici u vozilu ne moraju neprekidno nadzirati tehnologiju. Međutim, vozač mora biti prisutan i sposoban preuzeti kontrolu nad vozilom u bilo kojem trenutku, posebno u slučaju kvara sustava. Primjer za razinu 3 je tehnologija pomoći u vožnji koju je Audi razvio za svoju vodeću limuzinu A8 2019., iako joj nikada nije odobreno regulatorno odobrenje u Njemačkoj te su odgodili implementaciju. Ostala vozila koja čekaju regulatorno odobrenje za automatizaciju razine 3 uključuju redizajniranu Mercedes-Benz S klasu 2021. i potpuno novi električni automobil Mercedes-Benz EQS 2022., s Mercedesovom tehnologijom naziva Drive Pilot.⁹

⁸ Odlomak preuzet iz: Barać, Ante: Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021.str.24.

⁹ Ibid, str. 24

4. UPRAVLJAČKI SUSTAVI AUTONOMNIH VOZILA

Ideja o stvaranju potpuno pouzdanih autonomnih vozila nije nova, ali je njezina realizacija bila otežana zbog nedovoljnog brzog razvoja tehnologije u tom području. Iako je u posljednjem desetljeću postignut značajan napredak u razvoju algoritama, softvera i hardvera, još uvijek postoje izazovi koji se moraju riješiti kako bi upravljački sustavi autonomnih vozila funkcionirali bez pogrešaka.

Prije nego što se razmatraju kontrolni sustavi upravljanja, važno je spomenuti klasifikaciju razina autonomnosti cestovnih vozila, jer se na temelju njih određuje kako će biti izveden upravljački sustav. Različite razine autonomnosti su prvi put predstavljene od strane National Highway Safety Administration-a (NHTSA) 2013. godine, a godinu dana kasnije Society of Automotive Engineers (SAE) je izdao svoju klasifikaciju. SAE je odredio šest razina autonomnosti:¹⁰

- Razina 0 - Nema automatizacije: vozač upravlja vozilom u potpunosti.
- Razina 1 - Pomaganje vozaču: vozilo ima jednu ili više funkcija pomaganja vozaču, kao što su regulacija brzine ili parkiranje, ali vozač još uvijek mora biti uključen u upravljanje.
- Razina 2 - Djelomična automatizacija: vozilo ima nekoliko funkcija automatizacije, kao što su održavanje trake i regulacija brzine, ali vozač mora biti spreman preuzeti kontrolu u bilo koje vrijeme.
- Razina 3 - Uvjetna automatizacija: vozilo može obavljati sve funkcije upravljanja pod određenim uvjetima, kao što je vožnja po autocesti, ali vozač mora biti spreman preuzeti kontrolu ako sustav zahtijeva.
- Razina 4 - Visoka automatizacija: vozilo može obavljati sve funkcije upravljanja u većini situacija, ali vozač može preuzeti kontrolu ako to želi.
- Razina 5 - Potpuna automatizacija: vozilo može obavljati sve funkcije upravljanja u svim situacijama, bez potrebe za vozačem.

Klasifikacija SAE je široko prihvaćena i koristi se kao standard za opisivanje razina autonomnosti cestovnih vozila.

¹⁰ Rasheed Hussain and Sherali Zeadally. Autonomous cars: Research results, issues, and future challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 21(2):1275., 2019.

4.1. Senzorski sustav

Senzorski sustavi su ključni dio autonomnih vozila jer omogućuju vozilu da percipira i razumije okolinu u kojoj se nalazi. Ovi sustavi se sastoje od različitih senzora koji prikupljaju podatke iz okoline i šalju ih kontrolnom sustavu koji ih procesira i koristi za donošenje odluka o vožnji.

Postoje različiti tipovi senzora koji se koriste u senzorskim sustavima autonomnih vozila, a neki od najčešćih su:¹¹

- Kamere: Kamere su senzori koji koriste svjetlosne valove za prikupljanje podataka o okolini. Kamere se mogu koristiti za prepoznavanje prometnih znakova, pješaka, drugih vozila i drugih objekata u okolini. Kamere se također mogu koristiti za praćenje položaja vozila u odnosu na cestu i druge vozile.
- Radar: Radar je senzor koji koristi radio valove za prikupljanje podataka o okolini. Radar se može koristiti za mjerenje brzine i udaljenosti drugih vozila, pješaka i drugih objekata u okolini. Radar se također može koristiti za praćenje položaja vozila u odnosu na cestu i druge vozile.
- Lidar: Lidar je senzor koji koristi laserske zrake za prikupljanje podataka o okolini. Lidar se može koristiti za stvaranje 3D slike okoline i prepoznavanje objekata u okolini. Lidar se također može koristiti za praćenje položaja vozila u odnosu na cestu i druge vozile.
- Ultrazvučni senzori: Ultrazvučni senzori koriste zvučne valove za prikupljanje podataka o okolini. Ultrazvučni senzori se mogu koristiti za mjerenje udaljenosti drugih vozila, pješaka i drugih objekata u okolini. Ultrazvučni senzori se također mogu koristiti za parkiranje i izbjegavanje sudara.

GPS: GPS je senzor koji koristi satelitske signale za određivanje položaja vozila. GPS se može koristiti za navigaciju i praćenje položaja vozila u odnosu na cestu i druge vozile.

- Senzorski sustavi autonomnih vozila moraju biti vrlo pouzdani i precizni kako bi vozilo moglo sigurno i učinkovito navigirati kroz promet. Zbog toga se često koriste više senzora istovremeno kako bi se dobila što preciznija slika okoline. Ova tehnika se naziva

¹¹ S. Liu, L. Li, J. Tang, S. Wu, and J. Gaudiot. *Creating Autonomous Vehicle Systems*. Morgan Claypool, 2017., 85

senzorska fuzija i omogućuje vozilu da bolje razumije okolinu i donese bolje odluke o vožnji.

Senzorski sustavi autonomnih vozila su u kontinuiranom razvoju i poboljšanju kako bi se povećala sigurnost i učinkovitost vožnje. U budućnosti se očekuje da će senzorski sustavi biti još precizniji i pouzdaniji, što će omogućiti vozilima da voze autonomno u još većem broju situacija.

4.2. Radar

Radar je vrsta senzorskog sustava koji koristi radio valove za detekciju i mjerenje udaljenosti i brzine objekata. Radar se široko koristi u različitim područjima, kao što su vojska, zrakoplovstvo, meteorologija i promet. U autonomnim vozilima, radar se koristi kao ključan dio senzorskog sustava za detekciju i praćenje drugih vozila, pješaka i drugih objekata u okolini.

Funkcionira tako što emitira radio valove i mjeri vrijeme koje je potrebno za njihov povratak nakon što su odrazili od nekog objekta. Na temelju tog vremena, radar može precizno odrediti udaljenost i brzinu objekta. Radar može raditi u različitim frekvencijskim opsegima, a najčešće se koriste frekvencije od 24 GHz do 77 GHz za automobilsku primjenu.¹²

U autonomnim vozilima, radar se koristi za detekciju i praćenje objekata u okolini. Radar može detektirati objekte na velikim udaljenostima i u različitim vremenskim uvjetima, kao što su kiša, magla i snijeg. Radar također može detektirati objekte iza drugih objekata, što ga čini vrlo korisnim u gradskom prometu.

Može se koristiti samostalno ili u kombinaciji s drugim sensorima, kao što su kamere i lidari. Kombinacija radara s drugim sensorima omogućuje preciznije detekciju i praćenje objekata u okolini, što je ključno za sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila.

Nakon što radar zaprimi reflektirani signal on dobija informaciju koliko je zapravo objekt ili prepreka udaljena od radara i koliko se brzo kreće, te time prati brzine drugih vozila u stvarnom vremenu koji ga okružuju. Radar koji se koristi kao vizualni senzor u autonomnim vozilima obuhvaća frekvencijsko područje od 75 do 110 GHz, te valnu duljinu od 2,7 do 4 mm.¹³

¹² Ibid

¹³ Ibid

Radar ima nekoliko prednosti u odnosu na druge senzorske sustave. Na primjer, radar može raditi u širokom rasponu temperatura i uvjeta vidljivosti, što ga čini vrlo pouzdanim sensorom. Radar također može detektirati objekte na velikim udaljenostima i ima veliku brzinu detekcije, što je vrlo važno u prometu.

Međutim, također ima neke ograničenja. Na primjer, radar može imati poteškoća u detekciji malih objekata, kao što su djeca ili životinje, ako su vrlo blizu vozila. Radar također može imati poteškoća u detekciji objekata koji su vrlo blizu zemlji, kao što su niske prepreke ili rupa na cesti.

Ključan je dio senzorskog sustava autonomnih vozila. Radar omogućuje preciznu detekciju i praćenje objekata u okolini, što je ključno za sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila. Međutim, radar također ima neke ograničenja i mora se koristiti u kombinaciji s drugim sensorima kako bi se postigla maksimalna pouzdanost i preciznost.¹⁴

4.3. LIDAR

LIDAR je tehnologija koja koristi laserske zrake za mjerenje udaljenosti i stvaranje 3D slike okoline. LIDAR je akronim za Light Detection and Ranging, što znači da se laserska svjetlost koristi za detekciju i mjerenje udaljenosti objekata.

LIDAR sustav se sastoji od laserskog uređaja i prijemnika. Laserski uređaj emitira kratke laserske pulseve koji se odbijaju od objekata u okolini. Prijemnik zatim detektira odbijene laserske pulseve i mjeri vrijeme koje je potrebno da se signal vrati. Na temelju tog vremena, sustav može precizno izračunati udaljenost objekta od LIDAR uređaja.¹⁵

LIDAR tehnologija je vrlo precizna i može se koristiti u različitim uvjetima, uključujući i jako nepogodne vremenske uvjete. Zbog svoje preciznosti, LIDAR se često koristi u autonomnim vozilima, gdje se koristi za detekciju i mjerenje udaljenosti drugih vozila, pješaka i drugih objekata u okolini.

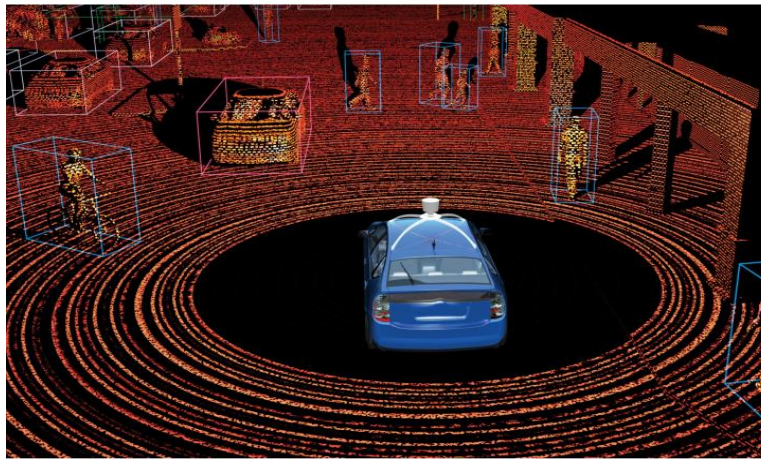
¹⁴ Ibid

¹⁵ Karsten Berns and Ewald von Puttkamer. *Autonomous Land Vehicles*. ViewegTeubner, 2009

U autonomnim vozilima, LIDAR se često koristi u kombinaciji s drugim sensorima, kao što su radar i kamere, kako bi se dobila što preciznija slika okoline. LIDAR se također koristi u drugim područjima, kao što su kartografija, geodezija, poljoprivreda i šumarstvo.

U posljednjih nekoliko godina, LIDAR tehnologija je napredovala i postala je dostupnija i jeftinija. To je dovelo do povećane upotrebe LIDAR-a u različitim područjima, uključujući i autonomna vozila. Međutim, LIDAR i dalje ima neke ograničenja, kao što su visoka cijena i veličina uređaja. Zbog toga se trenutno radi na razvoju novih i poboljšanih LIDAR sustava koji bi bili jeftiniji i manji, a istovremeno i precizniji.

Slika 2. Snimanja okoline LIDAR senzorom



Izvor: <https://www.cadcom.hr/lidar-snimanje-iz-zraka/>

Kada LIDAR prepoznaje objekt, stvara se detaljna 3D mapa terena prikazana na slici 3, koja vozilu omogućuje da razlikuje različite objekte kao što su automobili, kamioni, bicikli i slično, te da odgovara na odgovarajući način. Međutim, jedna od glavnih poteškoća kod korištenja LIDAR-a je činjenica da on skeniranjem dobiva reljefnu sliku okoline u jednoj cjelini, što nije dovoljno za pouzdano razlikovanje istih, ali različitih objekata. Standardni LIDAR rotira na frekvenciji od 10 Hz i prima 1,3 milijuna očitavanja u sekundi.¹⁶

¹⁶ CADCOM d.o.o. <https://www.cadcom.hr/lidar-snimanje-iz-zraka/>

4.4. Računalni vid

Računalni vid je grana umjetne inteligencije koja se bavi stvaranjem i primjenom algoritama i tehnika za analizu i interpretaciju vizualnih podataka. Cilj računalnog vida je da omogući računalima da "vide" i razumiju vizualne informacije na način sličan ljudskom oku i mozgu.

Računalni vid se koristi u mnogim područjima, uključujući robotiku, medicinu, sigurnost, promet i dr. Na primjer, u robotici se računalni vid koristi za navigaciju i manipulaciju objektima, u medicini se koristi za analizu slika i dijagnostiku bolesti, u sigurnosti se koristi za prepoznavanje lica i praćenje kretanja, a u prometu se koristi za prepoznavanje prometnih znakova i upravljanje autonomnim vozilima.¹⁷

Temelji se na različitim tehnikama i algoritmima, kao što su obrada slika, prepoznavanje obrazaca, strojno učenje i duboko učenje. Obrada slika se bavi poboljšanjem kvalitete slike i izolacijom važnih karakteristika slike, kao što su rubovi, teksture i boje. Prepoznavanje obrazaca se bavi identifikacijom i klasifikacijom objekata na temelju njihovih karakteristika. Strojno učenje i duboko učenje se koriste za učenje i poboljšanje performansi računalnog vida kroz iskustvo i podatke.

Računalni vid ima mnoge prednosti u odnosu na tradicionalne senzorske tehnologije, kao što su radar i LIDAR. Na primjer, računalni vid može prepoznati i interpretirati različite vrste objekata, uključujući i one koji nisu čvrsti, kao što su dim i vatra. Također, računalni vid može raditi u različitim uvjetima osvjetljenja i vremenskim prilikama, što ga čini pouzdanijim i fleksibilnijim od drugih tehnologija.

Međutim, također ima neke izazove i ograničenja. Na primjer, računalni vid može biti ometen zbog promjena u osvjetljenju, pokreta objekata i slično. Također, računalni vid zahtijeva velike količine podataka i računalne snage za obradu i analizu vizualnih informacija, što ga čini skupljim i kompleksnijim od drugih tehnologija.¹⁸

U budućnosti se očekuje da će imati sve veću ulogu u različitim područjima i da će se nastaviti razvijati i poboljšavati tehnike i algoritmi za analizu i interpretaciju vizualnih podataka.

¹⁷ L. Kovač, "Umjetna inteligencija danas", Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet, Rijeka, 2015. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:186:60649>

¹⁸ L. Kovač, "Umjetna inteligencija danas", Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet, Rijeka, 2015. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:186:606497>

Također se očekuje da će se integracija računalnog vida s drugim tehnologijama, kao što su umjetna inteligencija i robotika, omogućiti stvaranje novih i inovativnih aplikacija i rješenja.

4.5. GPS

GNSS (Global Navigation Satellite System) je globalni satelitski sustav za navigaciju i pozicioniranje koji se sastoji od više satelitskih sustava, uključujući GPS (Global Positioning System), GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema), Galileo i druge. Ovi sustavi koriste mrežu satelita koji neprekidno kruže oko Zemlje i šalju signale na Zemlju kako bi omogućili precizno određivanje položaja i vremena.

GPS je najpoznatiji i najšire korišteni satelitski sustav za navigaciju i pozicioniranje. Temelji se na mreži od 31 satelita koji kruže oko Zemlje na visini od oko 20.000 km. Svaki satelit neprekidno šalje signale na Zemlju koji sadrže informacije o vremenu i položaju satelita. GPS prijemnik na Zemlji koristi ove informacije kako bi precizno odredio svoj položaj, brzinu i visinu.¹⁹

GNSS sustavi se koriste u različitim područjima, uključujući promet, poljoprivredu, geodeziju, kartografiju i drugo. U autonomnim vozilima, GNSS sustavi se koriste za navigaciju i pozicioniranje vozila. GNSS prijemnik u vozilu prima signale sa satelita i koristi ih kako bi precizno odredio položaj vozila na Zemlji. Ovo omogućuje vozilu da prati predviđenu rutu i da se kreće prema odredištu.

GNSS sustavi imaju nekoliko prednosti u odnosu na druge tehnologije za navigaciju i pozicioniranje. Na primjer, oni omogućuju precizno određivanje položaja u bilo koje doba dana i u bilo kojim vremenskim uvjetima. Također, oni omogućuju globalnu pokrivenost i mogu se koristiti u bilo kojem dijelu svijeta. Međutim, GNSS sustavi također imaju neke ograničenja, kao što su mogućnost smetnji signala i ograničena preciznost u urbanim područjima s visokim zgradama.

Svemirski dio GPS-a, se sastoji od 32 satelita koji kruže oko Zemlje u kružnim putanjama na visini od oko 20.000 km. Da bi GPS sateliti pokrili što veće područje, potrebno je da se uvijek nalazi barem pet satelita iznad horizonta. Globalna pokrivenost GPS navigacijskog sustava se

¹⁹ Ibid

postiže putem strukture njihovog rasporeda u 6 orbitalnih ravnina, koje imaju inklinaciju (nagib prema Zemljinom ekvatoru) od 55° i razmaknute su za 60°. Ophodno vrijeme satelita iznosi 12 sati, a kreću se brzinom od 11.000 km/h.²⁰

Kontrolni dio se sastoji od pet kontrolnih stanica diljem svijeta koje vrše nadzor, prate i upravljaju satelitima. Glavna kontrolna stanica se nalazi u Colorado Springsu i ona izračunava odstupanje svakog satelita te šalje korekcije natrag satelitima nekoliko puta dnevno. Ostale četiri kontrolne stanice nemaju ljude u sebi, već one informacije dobivene od satelita prosljeđuju dalje glavnoj kontrolnoj stanici.

Korisnost GPS sustava kod autonomnih vozila je ogromna. GPS omogućuje precizno određivanje položaja vozila, što je ključno za autonomnu navigaciju. Osim toga, GPS se koristi za planiranje rute i praćenje kretanja vozila.

Autonomna vozila moraju imati preciznu lokaciju kako bi mogla pratiti svoju rutu i izbjegavati prepreke. GPS omogućuje vozilu da zna točno gdje se nalazi, što je osnova za sve druge navigacijske odluke. GPS također pomaže u planiranju rute, jer može identificirati najkraću ili najbržu rutu do odredišta.²¹

GPS također igra važnu ulogu u praćenju kretanja vozila. Kada vozilo promijeni smjer ili brzinu, GPS može detektirati ove promjene i prilagoditi rutu i brzinu vozila. Ovo je posebno važno kod autonomnih vozila, koja moraju biti u stanju prilagoditi se promjenama u prometu i okolini.

Međutim, GPS ima svoje ograničenja. Na primjer, GPS signal može biti ometen zbog lošeg vremena, visokih zgrada ili tunela. Zbog toga se autonomna vozila također oslanjaju na druge senzore, kao što su radar, LIDAR i kamere, kako bi imali precizniju sliku okoline i mogli sigurno navigirati.

Ukratko, GPS je ključan dio autonomnih vozila, jer omogućuje precizno određivanje položaja, planiranje rute i praćenje kretanja. Međutim, autonomna vozila moraju koristiti i druge senzore kako bi imali potpunu sliku okoline i mogli sigurno navigirati.

²⁰ Ibid

²¹ Ibid

pristup različitim destinacijama bez potrebe za oslanjanjem na druge. Ovo može značajno poboljšati kvalitetu života i omogućiti veću participaciju u društvenim i ekonomskim aktivnostima.

Ušteda vremena i produktivnost

Korištenje autonomnih vozila može rezultirati značajnom uštedom vremena i povećanjem produktivnosti. Vozači više ne moraju biti za volanom, što im omogućava da se posvete drugim aktivnostima tijekom vožnje, poput rada, čitanja ili odmora. Ova promjena može posebno koristiti u dugim vožnjama ili u svakodnevnim putovanjima na posao, čime se povećava produktivnost i smanjuje stres.

Ekonomične prednosti:

Autonomna vozila mogu donijeti i brojne ekonomske koristi. Smanjenje broja prometnih nesreća može rezultirati nižim troškovima zdravstvene skrbi i osiguranja. Također, optimizacija potrošnje goriva i smanjenje potrebe za velikim parkirnim prostorima mogu smanjiti troškove održavanja vozila i infrastrukture. Uz to, povećana učinkovitost u logistici i transportu može smanjiti operativne troškove i povećati profitabilnost u različitim industrijama.

Inovacije i tehnološki napredak:

Razvoj autonomnih vozila potiče inovacije i tehnološki napredak u raznim područjima, uključujući umjetnu inteligenciju, robotiku i telekomunikacije. Ove inovacije mogu imati široke primjene i koristiti drugim industrijama, čime se potiče gospodarski rast i razvoj novih tržišta.

5.2. Nedostaci autonomnih vozila

Iako autonomna vozila nude brojne prednosti, postoji i nekoliko nedostataka i izazova koji ih prate. U nastavku su detaljno opisani neki od glavnih nedostataka autonomnih vozila.

1. Tehnološki izazovi i greške

Unatoč napretku tehnologije, autonomna vozila se suočavaju s izazovima u pouzdanosti i preciznosti njihovih sustava. Greške u softveru ili hardveru mogu rezultirati nepredviđenim situacijama i potencijalno opasnim situacijama na cesti. Na primjer, problemi s detekcijom prepreka ili pogrešnim interpretacijama prometnih znakova mogu dovesti do sudara ili ozljeda.

2. Sigurnost i etika

Pitanja sigurnosti i etike su složena kada je riječ o autonomnim vozilima. Primjerice, sustav autonomnog vozila može se naći u situaciji u kojoj mora odabrati između spašavanja putnika ili pješaka. Odluka o prioritetu može biti kontroverzna i izazvati moralne dileme. Također, sigurnosni stručnjaci i hakivisti upozoravaju na potencijalne prijetnje cyber sigurnosti, kao što su hakiranje ili zloupotreba sustava autonomnih vozila.

3. Visoki troškovi i pristupačnost

Trenutno, autonomna vozila su skupa za proizvodnju i održavanje. Napredni senzori, kamere i druga oprema povećavaju troškove proizvodnje, a održavanje i popravci složenih sustava također mogu biti skupi. Ovi visoki troškovi mogu ograničiti pristup autonomnim vozilima široj populaciji, čime se smanjuje njihov potencijalni društveni utjecaj.

4. Pravne i regulativne prepreke

Regulativni okvir i zakonski propisi za autonomna vozila još uvijek nisu dovoljno razvijeni. Pitanja odgovornosti u slučaju nesreće, osiguranja i licenciranja vozača autonomnih vozila ostaju neriješena. Nedostatak jasnih pravila može otežati komercijalizaciju i širu implementaciju autonomnih vozila.

5. Gubitak radnih mjesta i socijalni utjecaj

Širenje autonomnih vozila može dovesti do gubitka radnih mjesta u sektorima kao što su vozači taksija, dostave i teretnog transporta. Ovo može imati negativan socijalni utjecaj na radnike u tim sektorima, te zahtijeva odgovarajuće socijalne politike i programe prekvalifikacije kako bi se ublažile negativne posljedice.

6. Ovisnost o tehnologiji i gubitak kontrole

Povećana ovisnost o tehnologiji i autonomnim sustavima može dovesti do gubitka vještina vožnje kod ljudskih vozača. Također, postoji zabrinutost da bi potpuno autonomna vozila mogla ograničiti slobodu kretanja i privatnosti pojedinaca, budući da bi sustavi nadzora mogli pratiti i bilježiti svako kretanje.²⁴

²⁴ Self-driving cars: pros and cons, Valientemott, online: Self-Driving Cars: The Pros & Cons of Automated

Nesreće autonomnih vozila također su izazvale veliku pažnju i raspravu u javnosti, posebno zbog pitanja sigurnosti i pouzdanosti ove tehnologije. Iako se autonomna vozila smatraju potencijalno sigurnijima od vozila koja upravljaju ljudi, događaji koji su rezultirali nesrećama ističu složenost i izazove koji su još uvijek prisutni u razvoju ove tehnologije.

Jedan od najpoznatijih primjera nesreće autonomnog vozila dogodio se 2018. godine kada je vozilo Ubera koje je bilo u autonomnom načinu rada udarilo i usmrtilo pješakinju u Arizoni. Istraga je pokazala da je vozač u tom trenutku bio ometen i nije pravilno nadzirao vožnju, a tehnologija autonomnog vozila nije uspjela prepoznati pješakinju na cesti. Ova nesreća izazvala je ozbiljne sumnje u sigurnost i sposobnost autonomnih vozila da pravilno reagiraju na nepredviđene situacije.

Drugi primjer je nesreća koja se dogodila 2016. godine kada je autonomno vozilo tvrtke Tesla sudjelovalo u smrtonosnoj nesreći. U ovom slučaju, vozač je koristio sustav "Autopilot" tvrtke Tesla, ali je izgubio život nakon što se automobil sudario s kamionom. Istraga je pokazala da je vozač nije pravilno nadzirao vožnju, dok tehnologija Autopilota nije prepoznala opasnost i spriječila sudar.

Nesreće s autonomnim vozilima često uključuju složene faktore koji mogu biti teško predvidljivi ili kontrolirani. Primjerice, različiti uvjeti ceste, ponašanje drugih vozača ili pješaka, kao i tehnički kvarovi ili greške u softveru mogu doprinijeti nesrećama. Osim toga, nedostatak dosljednih propisa i standarda za testiranje i certifikaciju autonomnih vozila dodatno otežava sigurnost.

7. Robotaksiji se zaustavljali pred majicom na kojoj je znak Stop

Potrebno je spomenuti jedan zanimljiv slučaj koji je nedavno privukao pažnju javnosti. Prema tvrdnjama, neki čovjek je, noseći majicu sa nacrtanim znakom stop, izletio pred samoupravljajuće vozilo. Vozačko mjesto u vozilu bilo je prazno, a vozilo se zaustavilo nakon što je prepoznalo znak stop na majici.

Iako se na prvi pogled čini da je ovo impresivno ostvarenje tehnologije, ovaj slučaj zapravo otkriva neke od potencijalnih nedostataka autonomnih vozila. Naime, ako autonomno vozilo ovisi o vizualnom prepoznavanju znakova na cesti kako bi donijelo odluku o zaustavljanju,

onda postoji mogućnost da će se vozilo zaustaviti i u situacijama kada to nije potrebno, kao što je slučaj s majicom sa znakom stop. To može dovesti do nepotrebnih zaustavljanja i usporavanja prometa.

Osim toga, ova vrsta tehnologije još uvijek nije savršena i može biti podložna pogreškama. Na primjer, ako je znak stop bio djelomično zaklonjen ili oštećen, vozilo bi moglo proći bez zaustavljanja, što bi moglo dovesti do opasnih situacija na cesti.

Sve u svemu, iako autonomna vozila imaju veliki potencijal za poboljšanje sigurnosti i učinkovitosti prometa, još uvijek imaju svoje nedostatke i ograničenja. Stoga je važno da se nastavi sa stražnjim istraživanjima i razvojem kako bi se tehnologija usavršila i poboljšala.²⁵

Svaka nesreća s autonomnim vozilima izaziva zabrinutost zbog potencijalnih posljedica i utječe na percepciju sigurnosti ove tehnologije.

Ključni izazov u prevladavanju nesreća s autonomnim vozilima je kontinuirano poboljšanje tehnologije kako bi se osiguralo da vozila mogu pouzdano reagirati na različite situacije na cesti. To uključuje razvoj naprednih senzora, sustava za obradu podataka i umjetne inteligencije koji mogu brzo analizirati okolinu i donijeti sigurne odluke. Također je važno jačanje propisa i standarda kako bi se osiguralo da su autonomna vozila sigurna za upotrebu na cestama i da se minimizira rizik od nesreća.²⁶

Od srpnja 2021. do listopada 2022. godine, američko Ministarstvo prometa zabilježilo je 605 nesreća s fatalnim ishodom i teškim ozljedama. U tim nesrećama sudjelovala su vozila opremljena naprednim sustavima pomoći vozaču poznatim kao autopilot, pri čemu je čak 474 od njih bilo Tesla vozila. Prvi dokumentirani smrtni slučaj povezan s Teslinom funkcionalnošću Autopilota dogodio se 2016. godine, kada je Tesla Model S sudjelovao u sudaru s bijelim kamionom pri punoj brzini. Nesreću je prouzročio nedostatak sposobnosti senzora automobila da razlikuju bijelu prikolicu u jakom dnevnom svjetlu, što je rezultiralo time da je sustav

²⁵ Potvrdili ranjivost na autonomnim vozilima: Robotaksiji se zaustavljali pred majicom na kojoj je znak STOP. Monitor.hr. Dostupno na: <https://www.monitor.hr/potvrdili-ranjivost-na-autonomnim-vozilima-robotaksiji-se-zaustavljali-pred-majicom-na-kojoj-je-znak-stop/>

²⁶ Raviteja, T., Vederaj, R.: An Introduction of Autonomus Vehicle and A Brief Survey, Journal of Critical Reviews, 7., 2020.

zamijenio prikolicu s okolinom. Vozač je, prema izvješću očevidaca, preminuo nakon što je krov njegovog vozila bio doslovno otkinut uslijed sile sudara.²⁷

Tri smrtna slučaja zabilježena su tijekom 2021. godine u dvije različite nesreće s Teslinim autopilotom. U oba slučaja, samovozeći automobili Model S skrenuli su s ceste i zapalili se nakon sudara s drvećem. Ove tragedije otvorile su pitanja o sigurnosti litij-ionskih baterija u vozilima te o operativnom sustavu, s obzirom na izvješća koja sugeriraju da je barem jedan putnik vjerojatno preminuo u požaru, a ne u samom sudaru, zbog nemogućnosti otvaranja vrata.

U studenom 2022. godine, u Guangdongu u Kini, Teslin automobil pokušao se parkirati, ali umjesto toga, iznenada se vratio na cestu, nekontrolirano ubrzavajući sve dok nije udario u zgradu. U ovoj nesreći su poginule dvije osobe, a tri su bile ozlijeđene. Vozač bijelog Modela Y Tesla tvrdio je da je izgubio kontrolu nad vozilom i da je imao problema s papučicom kočnice dok se pokušavao zaustaviti ispred svoje obiteljske trgovine.²⁸

Iako je tvrtka Tesla obećala suradnju s lokalnom policijom u istrazi ovog nesretnog incidenta, osporila je tvrdnje da je njezino vozilo ili tehnologija bili krivi za sudar. Prema njihovim tvrdnjama, snimke nesreće ne pokazuju aktivirana svjetla kočnica, a podaci iz njihovih vlastitih zapisa ne otkrivaju pokušaje vozača da pritisne papučicu kočnice tijekom nekontroliranog kretanja vozila. Ovo nije prvi put da je Teslina tehnologija autopilota bila povezana s prometnim nesrećama sa smrtnim ishodom, niti je prvi put da je tvrtka osporila odgovornost svog softvera ili hardvera.²⁹

²⁷ Ramos J., 2022., AUTONOMOUS VEHICLES AND ACCIDENTS: ARE THEY SAFER THAN VEHICLES OPERATED BY DRIVERS?, tomorrow.city, online: <https://tomorrow.city/a/self-driving-car-accident-rate>

²⁸ Ibid

²⁹ Richards L., 2022., Tesla Autopilot Crashes: With at Least a Dozen Dead, 'Who's at Fault, Man or Machine?' Impakter, online: Tesla Autopilot Crashes: With at Least a Dozen Dead, "Who's at Fault, Man or Machine?" (impakter.com)

6. PRIMJERI AUTONOMNIH VOZILA

6.1. Autonomni automobili

Na našem području, u Republici Hrvatskoj, također se počeo razvijati veliki projekt koji uključuje autonomna vozila. Osnivač tvrtke Rimac Automobili odlučio je pokrenuti izgradnju kompleksa koji će uključivati parkirališta, trgove, spremišta i punionice električnih, autonomnih taksija, poznatih kao robotaksi, duž rijeke Save, nasuprot zagrebačkom Studentskom domu "Stjepan Radić". Rimac je najavio da će Zagreb biti prvi grad u kojem će operirati taksiji bez vozača, s planiranim lansiranjem usluge robotaksi koje proizvodi njegova tvrtka, Project 3 Mobility, prema najavama, do 2024. godine.

Sljedeće godine planirano je testiranje svih sustava i pokretanje probne usluge u Zagrebu, dok bi se cijeli projekt trebao završiti do 2025. godine, kada bi komercijalna usluga trebala biti pokrenuta, godinu kasnije od Rimčevih predviđanja. Jedan od potencijalnih problema koji bi mogli utjecati na rok isporuke su mogući problemi s dobavom i manjkom naprednih vozila, uključujući one s konvencionalnim motorima, hibridima i električnim vozilima. Veliki problemi nastali su zbog nedostatka litijevih baterija i mikročipova, s obzirom na to da Teslina autonomna električna vozila ovise o litijevim baterijama za svoj pogon.³⁰

Tvrtka Cruise, koja je od 2016. godine u vlasništvu General Motorsa, započela je naplaćivati vožnje robotaksijima u lipnju 2022. godine. Trenutno imaju oko 70 taksija bez vozača koji operiraju u gradu. Sličan prijevoz već je dostupan i u Industrijskom parku Shougang u Pekingu, dok je Uber početkom prošle godine objavio pokretanje svog prvog robotaksija za komercijalnu upotrebu u Las Vegasu. U poslovanje s robotaksijima ušao je i Amazon nakon što je kupio startup Zoox, kako je izvijestio The Guardian početkom godine.

Amazon trenutno testira flotu robotaksijima na cestama u Kaliforniji koristeći svoje zaposlenike kao putnike. Waymo, podružnica Googleove matične tvrtke Alphabet, također je jedna od

³⁰ Mikulčić S., 2022., Nestašica litija mogla bi odgoditi i Rimčev robotaxi?, Večernji list, online: <https://www.vecernji.hr/auti/nestastica-litija-mogla-bi-odgoditi-i-rimcev-robotaxi-1628462> - Večernji.hr (vecernji.hr)

kompanija koja je odlučila koristiti robotaksije. Počeli su testirati vozila u Phoenixu, Arizoni, 2016. godine, a od tada su proširili svoju flotu na nekoliko drugih gradova diljem SAD-a.³¹

Podružnica tvrtke General Motors, Cruise, koja je zadužena za razvoj autonomnih vozila, lansirala je svoju uslugu robotaksija u San Franciscu u lipnju 2022. godine. Do tada, njihovo poslovanje bilo je ograničeno na određene četvrti i određene dijelove dana. San Francisco se pokazao kao idealno područje za testiranje Cruiseovih električnih robotaksija zbog brdovitog i terena. Međutim, jaka magla u gradu predstavljala je izazov za autonomna vozila. Upravljanje robotaksijama u San Franciscu postalo je ključni test poslovne održivosti za Cruise, koji vjeruje da ako mogu raditi u izazovnim uvjetima grada, mogu uspjeti bilo gdje. U početku, usluga će biti dostupna 24 sata dnevno samo zaposlenicima Cruisea, prije nego što se proširi na povlaštene korisnike i, konačno, na širu javnost.

Za sada će korisnici biti ograničeni na putovanja u sjeverozapadnim četvrtima grada tijekom dana, ali će se proširiti na većinu grada noću, kada je promet manji. Cruise također upravlja autonomnim vozilima u Phoenixu i Austinu, Teksas, i traži službeno dopuštenje za testiranje svojih autonomnih automobila u cijeloj Kaliforniji, argumentirajući da je njihov sustav prešao više od milijun milja bez vozača za upravljačem.

Tvrtka Uber, specijalizirana za automatizirane prijevozne usluge putnika i dostavu, te Hyundai-Aptiv udruženje, koje dijele 50 posto u razvoju tehnologije autonomne vožnje, usmjerili su svoje napore na komercijalizaciju autonomne vožnje. U partnerstvu s tvrtkom za autonomne tehnologije, Motional, pokrenuli su uslugu robotaksija u Las Vegasu 2022. godine, što predstavlja prvi korak u desetogodišnjem planu tvrtki za lansiranje u većim sjevernoameričkim gradovima.

Iako je Motional već pokrenuo slične usluge u Las Vegasu i na platformama Lyft i Via, ovo je prvi put da se autonomne vožnje nude široj javnosti putem Ubera. Ova inicijativa dolazi godinu dana nakon što su Motional i Uber udružili snage kako bi testirali autonomnu dostavu u Santa Monici, Kalifornija, što je još uvijek u tijeku.

Los Angeles će tako postati drugi grad lansiranja Ubera i Motionala. Kalifornija ima mnogo strože propise od Nevade, što je izazov za Motionalovu strategiju komercijalizacije autonomne vožnje. Motional je pokušao ishoditi nekoliko dozvola koje bi omogućile implementaciju

³¹ Premužak M., 2023., Zagreb neće biti prvi kao što je obećao Rimac, robotaksiji već voze po velikim gradovima, Lidermedia, online: <https://lidermedia.hr/tehnolo/zagreb-nece-biti-prvi-kao-sto-je-obecao-rimacrobotaksiji-vec-voze-po-veliki-gradovima-149128> (lidermedia.hr)

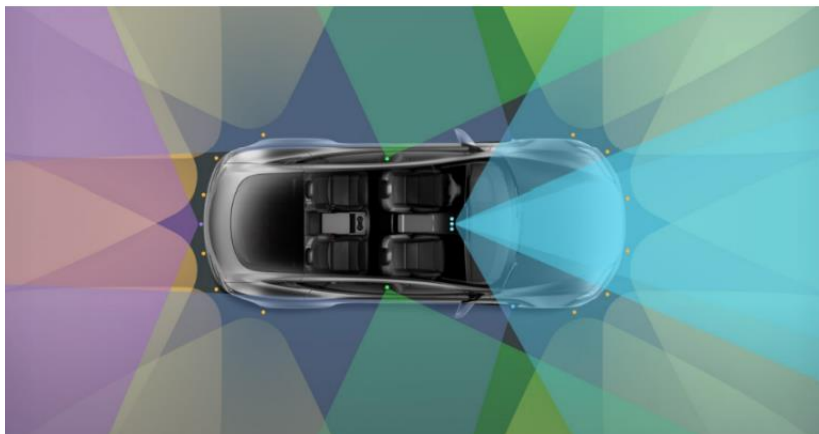
usluge javnosti u državi, ali do sada ima samo dozvolu kalifornijskog Odjela za motorna vozila za testiranje autonomnih vozila s sigurnosnim vozačem. Podnijeli su zahtjev za dozvolu za testiranje bez vozača.³²

6.2. Tesla

Tvrtka Tesla je među vodećima u području autonomnih vozila. Tesla autopilot predstavlja napredni sustav koji vozaču pomaže poboljšati sigurnost i udobnost tijekom vožnje. Tesla vozila su opremljena s osam vanjskih kamera, dvanaest ultrazvučnih senzora te snažnim računalom za vožnju koje dodatno osigurava sigurnost. Neki od modela također su opremljene radarom. Sustav je razine 2 automatiziranosti, što znači da je namijenjen vožnji uz stalnu prisutnost vozača. Vozač mora biti spreman preuzeti kontrolu u svakom trenutku.³³

Partnerstvo s Uberom slijedi Motionalovu strategiju komercijalizacije kroz korištenje postojećih platformi za dijeljenje vožnje. Umjesto izgradnje vlastite aplikacije i usluge, Motional se usredotočuje na omogućavanje autonomije, što je njihova glavna domena.³⁴

Slika 3. Senzori na Tesli



Izvor: <https://www.tesla.com/support/autopilot>

³² Bellan R., 2022., Uber and Motional launch robotaxi service in Las Vegas, Techcrunch, online: Uber and Motional launch robotaxi service in Las Vegas | TechCrunch

³³ Tesla, Inc. Autopilot podrška. Dostupno na: <https://www.tesla.com/support/autopilot>

³⁴ Imai, T. : Legal regulation of autonomous driving technology: Current conditions and issues in Japan, Hasei University, Tokyo, Japan, 2019.

Autopilot nudi sljedeće funkcionalnosti:

- Prilagodljivi tempomat (Traffic-Aware Cruise Control) prilagođava brzinu vozila prema prometu i uvjetima na cesti
- Automatsko upravljanje (Autosteer) omogućuje vozilu da samostalno upravlja unutar jasno označenih prometnih traka

Potpuna sposobnost samostalne vožnje uključuje funkcionalnosti autopilota uz dodatne:³⁵

- Navigacija na autopilotu (Navigate on Autopilot) vozi vozilo na autocesti, uključujući sugeriranje promjene trake, uključivanje pokazivača smjera i skretanje na ispravan izlaz
- Automatska promjena trake (Auto Lane Change) pomaže pri prelasku u susjednu traku na autocesti
- Automatsko parkiranje (Autopark) olakšava bočno ili okomito parkiranje vozila.
- Poziv (Summon) omogućuje parkiranje vozila na uskom mjestu ili njegovo izvlačenje putem aplikacije ili ključa
- Pametni poziv (Smart Summon) poziva vozilo u složenijim okolinama i parkiralištima te zaobilazi objekte kako bi pronašao vlasnika
- Kontrola prometa i znakova zaustavljanja (Traffic and Stop Sign Control) prepoznaje znakove zaustavljanja i semafore te automatski usporava vozilo kada nailazi na njih

Trenutačno se radi na razvoju automatskog upravljanja u gradskim područjima.

6.3. Waymo

Waymo je bila prva tvrtka koja je izvela potpuno autonomnu vožnju na javnim cestama 2015. godine. Razvili su Waymo Driver sustav razine 4 automatizacije. Ova tehnologija omogućuje vozilu da se sigurno zaustavi bez vozačeve intervencije u slučaju pada sustava ili kada se nađe u uvjetima koji nisu obuhvaćeni sensorima.

³⁵ Imai, T. : Legal regulation of autonomous driving technology: Current conditions and issues in Japan, Hasei University, Tokyo, Japan, 2019.

Waymo koristi različite vrste senzora, uključujući lidar, radar, kamere, IMU (inercijalne mjerne jedinice), GPS i dodatne senzore poput sustava za detekciju zvuka. Ovi senzori omogućuju vozilu da prepozna zvuk sirene vozila hitne pomoći i policije na velikim udaljenostima.³⁶

Slika 4. Waymo Driver senzori



Izvor: <https://storage.googleapis.com/waymo-uploads/files/documents/safety/2021-03-waymo-safety-report.pdf>

Sustav Waymo Driver sposoban je prepoznati i klasificirati objekte na cesti te procijeniti njihovu brzinu i smjer kretanja. Može razlikovati pješake, bicikliste, motocikliste, vozila i druge objekte, uključujući i boje statičnih objekata. Također je osviješten o okolini, poput radnih zona ili blokiranih cesta. Kada se vozilo susretne s blokiranom cestom, a ispred se nalazi drugi pokretni objekt, sustav će usporiti i dati prostora ako procijeni da će se taj objekt premjestiti u susjednu traku.³⁷

Waymo Driver prošao je testiranje na preko 30 milijuna kilometara javne vožnje, što je omogućilo razvoj visoko preciznog modela koji predviđa ponašanje različitih objekata na cesti. Sustav je svjestan da se pješaci, biciklisti i motociklisti ponašaju na različite načine, iako

³⁶ Waymo. Glavna stranica. Dostupno na: <https://waymo.com/>

³⁷ Waymo. Karijere. Dostupno na: <https://waymo.com/careers/>

njihovo ponašanje može izgledati slično vozilu. Na primjer, pješaci mogu biti sporiji od ostalih sudionika u prometu, ali mogu iznenada promijeniti smjer kretanja.³⁸

Waymo One je usluga prijevoza koja pruža potpuno autonomne vožnje na određenom području Arizone. Početkom 2020. godine, između 1000 i 2000 vožnji Waymo One bile su dostupne tijekom jednog tjedna. Kako usluga funkcionira? Korisnici ne mogu direktno zatražiti autonomnu vožnju, ali ako se autonomno vozilo nalazi u blizini, mogu pokušati se povezati s njim. Ukoliko uspiju, dobivaju obavijest putem aplikacije. Vozilo dolazi potpuno prazno, bez vozača ili drugih putnika, i vozi korisnike do odredišta. Razvijen je sustav Rider Support koji pruža odgovore na pitanja korisnika i podršku tijekom vožnje.

6.4. Autonomni autobusi

Tvrtka Toyota razvila je autonomne autobuse za potrebe Olimpijskog sela tijekom Olimpijskih igara u Tokiju 2021. godine. Ova vozila su kategorizirana kao razina 4 autonomije, što znači da ne zahtijevaju vozača za nadzor sustava, iako je barem jedna osoba prisutna u svakom vozilu radi sigurnosti. Također, vozila su ograničena na brzinu od 20 km/h.

Koristeći kombinaciju kamera i lidara, ova vozila mogu precizno detektirati okolinu i sigurno navigirati cestama unutar sela. Osim toga, dizajnirana su tako da pružaju udobnost putnicima, nudeći obilje prostora za putnike. Svako vozilo može primiti do dvadeset osoba ili četiri osobe u invalidskim kolicima, uz dodatnih sedam osoba koje stoje. Dodatno, opremljena su rampama koje omogućavaju brz i jednostavan ulazak i izlazak osobama s invaliditetom.³⁹

³⁸ Waymo. Glavna stranica. Dostupno na: <https://waymo.com/>

³⁹ Autonomni e-autobusi započeli s prijevozom putnika. eKovjesnik. Dostupno na: <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/1841/autonomni-e-autobusi-zapoceli-s-prijevozom-putnika>

Slika 5. Toyotin autonomni autobus



Izvor: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/29933371.html>

ZAKLJUČAK

Uvođenje pametnih vozila, posebno autonomnih vozila, u logističke sustave predstavlja značajan korak naprijed u modernizaciji i optimizaciji logističkih procesa. Kroz analizu pojma prometa i logistike te detaljno razmatranje koncepta pametnih automobila i njihovih razina autonomije, postalo je jasno da ova tehnologija ima potencijal transformirati način na koji se obavlja transport i distribucija robe.

Korištenje naprednih upravljačkih sustava, poput 5G mreža i V2X tehnologije, omogućuje bolju komunikaciju i koordinaciju vozila s infrastrukturom i drugim vozilima, što rezultira povećanom sigurnošću i efikasnošću prometnih tokova. Iako postoje značajne prednosti, kao što su smanjenje ljudske pogreške, optimizacija ruta i uštede u potrošnji goriva, postoje i izazovi koje je potrebno prevladati. Tehničke poteškoće, visoki troškovi implementacije i regulatorne prepreke predstavljaju ključne probleme koji se moraju riješiti kako bi se ostvario puni potencijal autonomnih vozila.

Primjeri iz prakse, poput autonomnih vozila kompanija Tesla i Waymo, te autonomnih autobusa, pokazali su konkretne primjene i benefite ove tehnologije. Ovi primjeri ukazuju na mogućnosti značajnog poboljšanja efikasnosti i smanjenja troškova u logistici, kao i na potencijal za unapređenje javnog prijevoza.

Integracija pametnih vozila u logistiku nije samo tehničko pitanje, već zahtijeva sveobuhvatan pristup koji uključuje prilagodbu postojećih logističkih procesa, investicije u infrastrukturu te suradnju između privatnog i javnog sektora. Ovaj rad pokazuje da su pametna vozila ključni element budućih logističkih sustava i da će njihova uspješna implementacija donijeti brojne koristi za društvo u cjelini.

Daljnja istraživanja i razvoj u ovom području neophodni su kako bi se prevladali postojeći izazovi i osigurala široka primjena autonomnih vozila u logistici. U konačnici, pametna vozila predstavljaju budućnost logistike, donoseći sa sobom revoluciju u načinima transporta i distribucije robe.

POPIS LITERATURE:

1. Bošnjak I., Inteligentni transportni sustavi 1, 2006., Sveučilište u Zagrebu – Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
2. Hlača B., Lučka logistika, 2016., Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
3. Jolić N., Logistika i ITS, 2006., Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
Jolić N., Logistika i ITS, 2006., Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
4. Ahvenjärvi S., 2016., ‘The Human Element and Autonomous Ships’, TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 10., br. 3, str. 517, 518
5. R. Glenn Wright., 2019., ‘Intelligent Autonomous Ship Navigation using Multi-Sensor Modalities’, TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 13., br. 3, str. 504
6. Major Functions of Cooperative Intelligent Transport Systems, 2009., Autocrypt, online: 7 Major Functions of Cooperative Intelligent Transport Systems – AUTOCRYPT
7. Advanced legal framework in the EU: Driverless through Europe, 2022., Traton, online: <https://traton.com/en/innovation-hub/legal-framework-in-the-eu-driverlessthrough-europe.html>
8. Atwell C., 2022., What are SAE's five self-driving levels?, Fierceelectronics, online: What are SAE's five self-driving levels? | Fierce Electronics
9. Povijest automobila, online: <https://helios.com.hr/edit/2019/projekti/trogir02/povijestAutomobila.html>
10. Premužak M., 2023., Zagreb neće biti prvi kao što je obećao Rimac, robotaksiji već voze po velikim gradovima, Lidermedia, online: <https://lidermedia.hr/tehn/zagrebneces-biti-prvi-kao-sto-je-obecao-rimac-robotaksiji-vec-voze-po-veliki-gradovima149128> (lidermedia.hr)
11. Ramos J., 2022., AUTONOMOUS VEHICLES AND ACCIDENTS: ARE THEY SAFER THAN VEHICLES OPERATED BY DRIVERS?, tomorrow.city, online: <https://tomorrow.city/a/self-driving-car-accident-rate>

12. Richards L., 2022., Tesla Autopilot Crashes: With at Least a Dozen Dead, ‘Who’s at Fault, Man or Machine? , Impakter, online: Tesla Autopilot Crashes: With at Least a Dozen Dead, “Who’s at Fault, Man or Machine?” (impakter.com)
13. Romero C., 2023., LiDAR in Cars: How LiDAR technology is making self driving cars a reality, Mrlcg, online: LiDAR in Cars: How LiDAR technology is making self driving cars a reality (mrlcg.com)
14. Rossen J., 2020., 7 Early Attempts at Self-Driving Cars, Mental Floss, online: Early Attempts at Self-Driving Cars | Mental Floss
15. M. Awad, R. Khanna, Efficient Learning Machines: Theories, Concepts, and Applications for Engineers and System Designers, Apress, 2015.
16. J. Barry, G. Velasco-Hernandez, J. Walsh, D. J. Yeong, Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review, MDPI
17. O. Brock, W. Burgard, C. Stachniss, Robotics: Science and Systems III, The MIT Press, 2008.
18. B. Brown, J. Kho, P. Liu, B. Meister, C. Mrutyunjaya, V. Narayanan, V. Vaidyanathan,
19. HyperSpectral Technology for Autonomous Vehicles, Sutardja Center for Entrepreneurship & Technology, Berkeley Engineering,
<https://scet.berkeley.edu/wpcontent/uploads/UCB-ELPP-Report-Hyperspectral-Technology-for-AutonomousVehicles-FINAL.pdf>
20. Tesla, Autopilot and Full Self-Driving Capability, Online:
<https://www.tesla.com/support/Autopilot>
21. Raviteja,T., Vederaj, R.: An Introduction of Autonomus Vehicle and A Brief Survey, Journal of Critical Reviews, 7.13, 2020
22. Liu, S., Tang, J., Zhang, Z.: Computer architectures for autonomous driving, IEEE Comput. Archit. Lett., 2017

POPIS SLIKA:

1. Slika 1. Razine autonomije vozila
2. Slika 2. Snimanja okoline LIDAR senzorom
3. Slika 3. Senzori na Tesli
4. Slika 4. Waymo Driver senzori
4. Slika 4. Toyotin autonomni autobus