

# Komparacija sustava autonomne vožnje automobila

---

**Jerkunica, Antonia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of economics Split / Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:124:362950>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-23**

*Repository / Repozitorij:*

[REFST - Repository of Economics faculty in Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
EKONOMSKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

# **Komparacija sustava autonomne vožnje automobila**

**Mentor:**  
prof. dr. sc. Željko Garača

**Student:**  
Antonia Jerkunica

**Split, rujan, 2021.**

# SADRŽAJ

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD</b>                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1. Definicija problema                                               | 1         |
| 1.2. Cilj rada                                                         | 1         |
| 1.3. Metode rada                                                       | 1         |
| 1.4. Struktura rada                                                    | 2         |
| <b>2. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U INDUSTRIJI AUTOMOBILA</b>       | <b>3</b>  |
| 2.1. Umjetna inteligencija                                             | 3         |
| 2.2. pristupi umjetne inteligencije                                    | 5         |
| 2.3. Umjetna inteligencija i autonomna vozila                          | 6         |
| <b>3. AUTONOMNI AUTOMOBILI</b>                                         | <b>7</b>  |
| 3.1. Autonomni automobil                                               | 7         |
| 3.2. Razine autonomnije                                                | 8         |
| 3.3. Tehnologija korištena u automobilima razine 4 autonomije          | 10        |
| <b>4. KOMPARACIJA SUSTAVA AUTONOMNE VOŽNJE RAZINE 4</b>                | <b>13</b> |
| 4.1. WAYMO                                                             | 13        |
| 4.1.1. Waymo Pacifica minivolumen                                      | 14        |
| 4.1.2. Peta generacija Waymo Driver-a                                  | 16        |
| 4.2. BAIDU                                                             | 18        |
| 4.2.1. Apollo komponente                                               | 19        |
| 4.2.2. V2X – rješenje za inteligentnu suradnju u infrastrukturi vozila | 20        |
| 4.3. PONY.AI                                                           | 22        |
| 4.3.1. Pony.ai komponente                                              | 22        |
| 4.3.2. PonyAlpha                                                       | 24        |
| 4.4. Komparacija Waymo, Baidu, Pony.ai                                 | 27        |
| 4.4.1. Godišnji izvještaj za 2019. godinu                              | 27        |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 4.4.2. Godišnji izvještaj za 2020. godinu .....          | 29 |
| 5. BUDUĆNOST AUTONOMNE VOŽNJE (RAZINA 5 AUTONOMIJE)..... | 31 |
| 5.1. TESLA .....                                         | 31 |
| 6. ZAKLJUČAK .....                                       | 33 |
| LITERATURA.....                                          | 34 |
| POPIS SLIKA .....                                        | 36 |
| SAŽETAK .....                                            | 37 |
| SUMMARY .....                                            | 38 |

# **1. UVOD**

Umjetna inteligencija ima velik utjecaj na današnji stil života i ima veliki spektar upotrebe u svakodnevnicima. Razvoj tehnologije i ubrzani način života doveli su do potrebe za samovozećim automobilima, odnosno automobilima razine 4 autonomije kako bi se povećao standard i kvaliteta života.

Autonomni automobil vozilo je koje može „osjetiti“ svoju okolinu i raditi bez ljudskog posredništva. Čovjek u nijednom trenutku ne preuzima kontrolu nad vozilom, niti je potrebno da putnik uopće bude u vozilu.

## **1.1. Definicija problema**

Problem istraživanja je primjena umjetne inteligencije na sustave autonomne vožnje, autonomija automobila te komparacija sustava autonomne vožnje različitih proizvođača.

## **1.2. Cilj rada**

Cilj rada je istražiti na koji način je umjetna inteligencija imala utjecaj na vožnju i automobile, razine autonomije te usporediti više proizvođača i njihovu konkurentnost tržištu autonomnih vozila.

## **1.3. Metode rada**

Za izradu ovog rada korištene su metode komparacije, deskripcije te metode indukcije i dedukcije.

## **1.4. Struktura rada**

Ovaj rad se sastoji od šest poglavlja. Prvo poglavlje je uvodno, dok drugo poglavlje uvodi u samu problematiku umjetne inteligencije i njezinu primjenu u industriji automobila. Treće poglavlje objašnjava razine autonomije automobila, kao i tehnologiju koja se koristi kako bi se vozila klasificirala kao razina 4 autonomije. U četvrtom poglavlju je napravljena komparacija tri tvrtke koji prednjače na tržištu autonomnih vozila razine 4. Peto poglavlje je o budućnosti autonomne vožnje, odnosno o vozilima razine 5 autonomije. Posljednje, odnosno šesto poglavlje je zaključno poglavlje u kojem su iznesena završna razmatranja.

## 2. PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U INDUSTRIJI AUTOMOBILA

### 2.1. Umjetna inteligencija<sup>1</sup>

Mnoge ljudske svakodnevne aktivnosti zahtijevaju inteligenciju, bilo da se radi o razumijevanju jezika, pisanju programa ili vožnji automobila. Može se reći da je inteligencija nečija sposobnost rješavanja problema koristeći se prethodno stečenim teorijskim znanjima. Inteligencija individualca se sastoji od niza svojstvenih mogućnosti kao što je prepoznavanje i razumijevanje objektivnih stvari, stjecanje iskustva i znanja učenjem novih stvari, primjena znanja i iskustva za analizu problema i rješavanje problema, kreativnost i inovacija, mogućnost predviđanja i uočavanja promjena i napretka stvari. Posljednjih nekoliko desetljeća računala se razvijaju na način mogu izvršavati i ovakav tip zadataka.

Postoji više definicija umjetne inteligencije, a najznačajnije su:

- „Umjetna inteligencija je studija kako proizvesti računala da rade stvari u kojima su ljudi trenutno bolji.“
- „Umjetna inteligencije je grana računalnih znanosti koja se bavi simboličkim, ne-algoritmitičkim metodama rješavanja problema.“
- „Umjetna inteligencija je dio računalne znanosti koja se bavi dizajniranjem inteligentnih računalnih sustava koji pokazuju karakteristike koje bi smo inače asocirali sa inteligencijom u ljudskom ponašanju.“

Pojam umjetna inteligencija (engl. Artificial Intelligence) prvi se put pojavljuje u šezdesetim godinama 20. stoljeća. Tada je dizajner jezika „LISP“, John McCarthy, rekao kako umjetna inteligencija popunjava jaz između znanstvenika o ljudskom ponašanju i računalnih znanstvenika. Računala imaju skup pravila zapisanih u programskom jeziku računala, koja će on uvijek poštivati. Humanistički znanstvenici mogu testirati svoje teorije o ljudskom ponašanju pretvarajući pravila ponašanja u računalne programe te promatrati je li ponašanje računala u izvršavanju tih programa

---

<sup>1</sup> Akerkar, R. (2014): Introduction to Artificial Intelligence, Second Edition, Western Novel Research Institute, Sogndal, Norway, str. 2-3

poput prirodnog ljudskog ponašanja ili barem dio ljudskog ponašanja kojeg proučavaju. Računalnim znanstvenicima modeliranje ljudskog ponašanja predstavlja izazov njihovim programerskim sposobnostima jer za cilj imaju napisati program koji oponaša nepredvidivo ponašanje čovjeka.

Računala su u mnogim zadacima nadmašila ljude. Neki od njih su:

1. Numeričko računanje – računala su nedvojbeno brža i točnija kada je u pitanju numeričko računanje, rezultati su vidljivi odmah te je šansa pogreške minimalna
2. Pohrana podataka – računala mogu skladištiti ogromne količine podataka, kapacitet je ograničen samo dostupnošću informacija, za razliku od ljudi koji mogu pohraniti samo određenu količinu informacija
3. Rutinske operacije – računala su posebno izrađena za odrađivanje rutinskih operacija ili zadataka, za razliku od ljudi oni se ne mogu „umoriti“ što dovodi do minimiziranja pogrešaka u radu

Prethodno navedena lista uključuje zadatke koji se izvode mehanički, odnosno bez razmišljanja. Kod izvođenja inteligentnih zadataka, ljudi su se uspješniji od računala. Inteligencija je širok pojam i ne postoji jedinstvena definicija koja je opisuje, međutim slijedeće karakteristike su esencijalne kako bi nekoga smatrali inteligentnim:

- Fleksibilno reagiranje na situacije
- Razumijevanje dvosmislenih poruka ili poruka s greškom
- Procjenjivanje relativne važnosti različitih elemenata u različitim situacijama
- Pronalaziti sličnosti u različitim situacijama
- Razlikovanje situacija iako imaju slične elemente

Pod pretpostavkom da se inteligencija može definirati, kao što je prethodno navedeno, nastavljamo na popis zadataka za koje je potrebna inteligencija:

- Razumijevanje i generiranje govora
- Prepoznavanje uzorka

- Kretanje u prostoru ispunjenom dinamičkim zaprekama
- Dokazivanje matematičkih teorema
- Rasuđivanje

## 2.2. pristupi umjetne inteligencije

Umjetna inteligencija se temelji na kombiniranju velikih količina podataka. Ona vrlo brzo obrađuje podatke putem inteligentnih algoritama koji softveru dopuštaju da uči o značajkama, odnosno o obrascima podataka.

Umjetna inteligencija se može podijeliti na tri glavna polja:<sup>2</sup>

- **SIMBOLIČKO UČENJE** (engl. Symbolic Learning) – temelji se na ljudsko čitljivim simbolima logike, problema, pretraživanja i simboličkim pravilima učenja, koji su stvoreni ljudskom intervencijom. Mješavine simbola s njihovim međusobnim odnosima nazivaju se zaključivanjem. Kako bi izgradili simbolično zaključivanje, ljudi počinju učiti pravila odnosa fenomena, a zatim se kod tih odnosa prenosi u program. Simbolično učenje može se podijeliti na kognitivno računarstvo i računalni vid.
- **STATISTIČKO UČENJE** (engl. Statistical Learning) - bavi se problemom pronalaska prediktivne funkcije na temelju podataka. Uključuje stvaranje hipoteze prije nego što se pristupi izgradnji modela. Statističko učenje oslanja se na programiranje zasnovano na pravilima i formalizirano je u obliku odnosa između varijabli. Također se temelji na manjem skupu podataka s atributima, djeluje na pretpostavkama, kao što su normalnost, multikolinearnosti i homoskedastičnost.
- **STROJNO UČENJE** (engl. Machine Learning) - stvara i automatizira analitičke i numeričke modele i algoritme koji se mogu koristiti za poboljšanje performansi sustava u određenom zadatku. Dijeli se na tri područja, ovisno o prirodi problema kojeg je potrebno riješiti: nadzirano učenje, nenadzirano učenje i podržano (ojačano) učenje.

---

<sup>2</sup> Jazar, R.N., Dai, L. (2020): Nonlinear Approaches in Engineering Applications: Automotive Applications of Engineering Problems, str. 42-44

### **2.3. Umjetna inteligencija i autonomna vozila**

Računala koriste umjetnu inteligenciju na način kako se ljudi koriste svojom inteligencijom. Ona je zaslužna za prikupljanje informacija iz okoline, obradu tih podataka i korištenje istih za donošenje odluke. Autonomna vozila danas koriste veliki broj senzora kao što su kamere, radari, lidari, ultrazvučni i GPS senzori. Svi zajedno daju automobilu 3-D prikaz svoje okoline kao i informacije o objektima koji ga okružuju i njihovoj brzini kretanja. S tim informacijama na raspolaganju, vozilo može donositi odluke kao i svaki iskusni vozač.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Sagar, V., Nanjundeswaraswamy, Dr. (2019). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTONOMOUS VEHICLES - A LITERATURE REVIEW, i-manager's Journal on Future Engineering and Technology, Vol. 14, No. 3, str. 56-62

## 3. AUTONOMNI AUTOMOBILI

### 3.1. Autonomni automobil<sup>4</sup>

Autonomni automobil vozilo je koje može „osjetiti“ svoju okolinu i raditi bez ljudskog posredništva. Čovjek u nijednom trenutku ne preuzima kontrolu nad vozilom, niti je potrebno da putnik uopće bude u vozilu. Autonomni automobil može ići svugdje gdje ide tradicionalni automobil i raditi sve što i iskusan vozač.

Autonomni automobili oslanjaju se na senzore, aktuatore, složene algoritme, sustave strojnog učenja i moćne procesore za izvršavanje softvera.

Autonomni automobili stvaraju i održavaju kartu svog okruženja na temelju različitih senzora smještenih u različitim dijelovima vozila. Radarski senzori nadziru položaj vozila u blizini. Video kamere otkrivaju semafore, čitaju prometne znakove, prate druga vozila i traže pješake. Lidar senzori (za otkrivanje svjetla i domet) odbijaju svjetlosne impulse iz okoline automobila radi mjerenja udaljenosti, otkrivanja rubova ceste i identificiranja oznaka traka. Ultrazvučni senzori u kotačima otkrivaju rubnike i druga vozila pri parkiranju.

Sofisticirani softver zatim obrađuje sav taj osjetni unos, zacrtava put i šalje upute pokretačima automobila koji kontroliraju ubrzanje, kočenje i upravljanje. Strogo kodirana pravila, algoritmi za izbjegavanje prepreka, prediktivno modeliranje i prepoznavanje objekata pomažu softveru slijediti prometna pravila i kretati se po preprekama.

---

<sup>4</sup> Synopsis – What is an autonomous car? [Internet] dostupno na: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-autonomous-car.html> [26.08.2021.]

### 3.2. Razine autonomije<sup>5</sup>

SAE International (The Society of Automotive Engineers), odnosno američko „Društvo automobilskih inženjera“, definira šest različitih razina automatizacije počevši od nulte razine automatizacije vožnje do pete razine.

#### Razina 0

Razina 0 znači da ne postoji automatizacija vožnje, odnosno vožnja je u potpunosti manualna. Većina vozila danas je nulte razine autonomije te je čovjekov zadatak da odrađuje dinamički dio vožnje, iako se u automobilu nalaze sustavi koji pomažu u vožnji. Primjer takvog sustava je sustav kočenja u nuždi.

#### Razina 1

Razina 1 je najniža razina automatizacije vozila, služi vozaču kao pomoć u vožnji. Tip vozila sa razinom 1 autonomije ima jedan automatizirani sustav koji mu pomaže u vožnji, kao što su upravljanje ili ubrzavanje (tempomat). Primjerice prilagodljivi tempomat drži automobil na sigurnoj udaljenosti od slijedećeg automobila, to se kvalificira kao razina 1 jer vozač mora nadzirati ostale aspekte vožnje kao što su kočenje i upravljanje.

---

<sup>5</sup>Synopsys - The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained [Internet] dostupno na: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html> [29.07.2021.]

## **Razina 2**

Razina 2 označava djelomičnu automatizaciju vožnje, odnosno vozilo ima napredniji sustav pomoći vozaču (engl. Advanced driver assistance systems ili ADAS). Automobil u tom slučaju kontrolira upravljanjem i ubrzavanjem, odnosno usporavanjem. Iako automobil može voziti sam, razina 2 nije potpuna autonomija jer čovjek uvijek sjedi na vozačevom sjedalu i može preuzeti kontrolu u svakom trenutku. Tesla Autopilot i Cadillac Super Cruise oboje svrstavamo u razinu 2.

## **Razina 3**

Razina 3 označava automatizaciju uvjetne vožnje. Postignut je veliki tehnološki napredak u usporedbi s razinom 2, međutim u ljudskoj perspektivi je taj napredak zanemariv. Automobili treće razine imaju mogućnost takozvanog „otkrivanja okoliša“ i sami donose informirane odluke kao što je naprimjer pretjecanje sporijeg vozila. Ipak, i dalje zahtijevaju ljudski nadzor, čovjek mora sjediti na vozačevom mjestu te uvijek mora biti na oprezu i spreman preuzeti kontrolu nad automobilom ukoliko sustav nije u mogućnosti sam izvršiti zadatak. Prvo globalno vozilo treće razine na tržište je stavio Audi 2019. godine kada je predstavio model A8 L koji sadrži „Traffic Jam Pilot“ koji je kombinacija optičkog mjernog instrumenta s naprednim senzorima i obradom podataka.

## **Razina 4**

Razina 4 predstavlja visoku automatizaciju vožnje. Automobili četvrte razine u većini okolnosti ne zahtijevaju ljudsku pomoć te sami mogu intervenirati ukoliko dođe do neočekivane situacije ili se sustav pokvari. Iako automobili razine 4 mogu voziti samostalno, čovjek uvijek ima mogućnost poništavanja automatizacije i prebacivanja na manualnu vožnju. Razvijena je tehnologija „MAX4“ od strane kanadskog dobavljača automobila Magna kako bi vozila četvrte razine mogla voziti kako po urbanom području tako i na brzim i autocestama. Zbog trenutnog zakonodavstva i infrastrukture vozila četvrtog stupnja su ograničena na urbana područja u kojem prosječne brzine ne prelaze 50

km/h. Ograničavanje područja kretanja automobila naziva se geografska ograda (engl. geofencing).

## **Razina 5**

Razina 5 predstavlja potpunu automatizaciju vožnje. Ovaj tip automobila neće imati upravljač kao ni papučice za ubrzavanje i kočenje te neće zahtijevati ljudsku pomoć pri vožnji. Neće imati restrikciju ranije spomenute geografske ograde te će biti u mogućnosti ići gdje i svaki vozač sa iskustvom. Potpuno autonomni automobili još nisu dostupni široj javnosti, ipak provodi se njihovo testiranje na nekoliko svjetskih lokacija.

### **3.3. Tehnologija korištena u automobilima razine 4 autonomije**

Autonomni automobili koriste različite tehnike za otkrivanje svoje okoline, poput radara, laserskog svjetla, GPS -a, brojača kilometara i računalnog vida. Napredni sustavi upravljanja tumače osjetne informacije radi identifikacije odgovarajućih navigacijskih putova, kao i prepreka i relevantnih oznaka. Autonomni automobili imaju sustave upravljanja koji su sposobni analizirati osjetne podatke kako bi razlikovali različite automobile na cesti, što je vrlo korisno pri planiranju puta do željenog odredišta.

Sustavi koji se koriste u autonomnim automobilima sastoje se od slijedećih komponenti:<sup>6</sup>

- **LIDAR** (engl. Light Detection and Ranging)

To je tehnologija daljinskog mjerenja koja mjeri udaljenost osvjetljavajući metu svjetlosnim snopom i analizira reflektiranu svjetlost. Montira se na krov vozila na cilindrično kućište koje se okreće za 360 stupnjeva i najvažniji je uređaj u autonomnim vozilima. Lidar se sastoji od odašiljača, ogledala i prijemnika. Mapira 3D strukturu okoliša i lokaciju na cesti u 360 stupnjeva. Za snimanje objekata koristi laser, ultra ljubičasto,

---

<sup>6</sup> Ondruš, J., Kolla, E., Vertal, P., Šarić, Ž. (2020): How Do Autonomous Cars Work?, Transportation Research Procedia, Vol. 44, str. 226-233

vidljivo ili infracrveno svjetlo. Odašiljač odašilje lasersku zraku koja se odbija od zrcala koje se okreće zajedno s cilindričnim kućištem pri 10 okretaja u minuti. Nakon odbijanja od objekata, laserski snop se vraća u ogledalo i odbija natrag prema prijemniku, gdje se može protumačiti u podatke. Ti se podaci unose u računalo koje generira 3D preciznu kartu okruženja. Vozilo tada koristi kartu za izbjegavanje objekata. Ta je točnost ove karte izražena u centimetrima jer je valna duljina korištene svjetlosti vrlo mala i može reflektirati sve vrste površina i malih objekata.

- **RADAR** (engl. Radio Detection and Ranging)

Ova oprema može procijeniti međusobnu brzinu objekta i vozila, koristeći elektromagnetske valove. Tijekom mjerenja šalje signal, zatim čeka povratnu informaciju. Radar, u usporedbi s lidarom, koristi veću valnu duljinu i nižu energiju signala. Međutim, ne može opisati oblik skeniranog prostora. Također može imati problema s nemetalnim predmetima ili predmetima specifičnog oblika. Većina radara radi u rasponu od približno 77 GHz, a snop za skeniranje je relativno usmjeren. Radar skenira cestu ispred vozila do udaljenosti od približno 200 metara. Neka vozila koriste dva radara s različitim rasponima. Radarski sustavi ugrađeni su na prednji i stražnji odbojnik vozila. Radar detektira okolno okruženje, a središnje računalo kombinira ovaj rezultat s rezultatima lidar sustava. Radarski sustav koristi se za otkrivanje nadolazećih vozila, njihove brzine, drugih prepreka, za samostalno parkiranje, otkrivanje mrtvog kuta, pomoć pri promjeni trake, prilagodljivi tempomat, upozorenje na bočni udar, upozorenje na križ, itd.

- **ULTRAZVUČNI SENZORI**

Montiraju se na različite strane vozila za otkrivanje objekata u blizini vozila ili mjerenje položaja drugih vozila tijekom parkiranja. Ovi senzori pružaju pomoć pri parkiranju, upozorenje na sudar, napuštanje prometne trake i slično.

- **VIDEO KAMERE**

Instalirane su na vrhu prednjeg stakla, u blizini retrovizora i stvaraju 3D slike ceste ispred vozila u stvarnom vremenu. One se koriste za otkrivanje semafora, prometnih znakova, neočekivanih stvari poput životinja ili pješaka. Također otkrivaju različite prometne znakove poput znakova "STOP", prijelaze zebre, itd. Video kamere također pomažu u

prepoznavanju određenih gesta koje druge senzori ne mogu shvatiti poput mahanja rukom ili prometnih čunjeva.

- **GPS (Global Positioning System)**

To je satelitski navigacijski sustav koji pruža informacije o trenutnoj lokaciji i vremenu bilo gdje na zemlji gdje postoji neometana linija vidljivosti za četiri ili više satelita. To je osnova svih karata koje vozilo koristi dok je na cesti. Svi sateliti emitiraju na iste dvije frekvencije, 1.57542 GHz i 1.2276 GHz. GPS koristi satelite za prikupljanje informacija o trenutnom položaju vozila. Također održava vozilo na predviđenoj ruti s točnošću od 30 centimetara. Korištenjem GPS -a karta područja se učitava u središnje računalo. S GPS -om koriste se drugi sustavi za određivanje potpunog položaja.

- **INERCIJSKA MJERNA JEDINICA**

Inercijska mjerna jedinica koristi kombinaciju akcelerometra, žiroskopa i magnetometra. Inercijska mjerna jedinica je elektronički uređaj koji mjeri i daje informacije o brzini vozila, orijentaciji, gravitacijskim silama itd. Jedinica pomaže GPS sustavu u radu kada signali nisu dostupni, poput tunela, loših vremenskih uvjeta i kada su prisutne elektromagnetske smetnje.

- **CPU (Računalo)**

Svi podaci dobiveni iz svakog senzorskog sustava šalju se na središnje računalo koje ih obrađuje velikom brzinom. Središnje računalo vrlo je moćna procesorska jedinica montirana na unutar vozila. Uz pomoć visoko sofisticiranog softvera donosi potrebnu odluku i šalje izlaz elektro-mehaničkim jedinicama poput automatskog upravljanja, sustava za ubrzavanje i kočenje. Ovo je računalo također spojeno na internet i GPS sustav radi pružanja praćenja i ažuriranja u stvarnom vremenu.

## 4. KOMPARACIJA SUSTAVA AUTONOMNE VOŽNJE RAZINE 4

### 4.1. WAYMO<sup>7</sup>

Waymo je američka autonomna tehnološka tvrtka za vožnju čija je misija napraviti vožnju sigurnijom i jednostavnijom kako u prijevozu ljudi tako i u prijevozu robe. S radom su započeli 2009. godine kao „Google Self-Driving Car Project“ te su 2016. godine postali podružnica Alphabet Inc-a i dobili ime Waymo. Od samih početaka Waymo je bio usredotočen na izgradnju „Waymo Driver – the World's Most Experienced Driver“, odnosno na izgradnju najiskusnijeg vozača na svijetu kako bi se svima poboljšao pristup mobilnosti.

Njihova flota uključuje modificirane Toyota Prius modele, Lexus SUV-ove, prototipno vozilo rađeno po mjeri imena „Firefly“ te potpuno autonomne monovolumene Chrysler Pacifica Hybrid. Chrysler Pacifica Hybrid minivolumeni su prva vozila izgrađena na platformi za masovnu proizvodnju s potpuno integriranim hardverskim paketom, koje je Waymo dizajnirao u svrhu potpune autonomije. Također, u partnerstvu s Jaguarom je napravljeno prvo svjetsko premium električno vozilo s autonomnim pogonom: Jaguar I-PACE.

Waymo je usredotočen na izgradnju Waymo vozača (engl. Waymo Driver). Waymo Driver se sastoji od dva dijela: hardvera i softvera. Hardver i softver zajedno rade kako bi oslikali sliku svijeta oko vozila i omogućili sigurno kretanje po cestama.

Hardverski dio ima paket senzora koji uključuje lidar, kamere, radar i računarsku platformu koja je bazirana na umjetnoj inteligenciji, oni zajedno pružaju pogled na svijet od 360 stupnjeva.

S druge strane, softverski dio prikuplja informacije od senzora kako bi se odgovorilo na četiri ključna pitanja:

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

---

<sup>7</sup> Waymo – Waymo Driver [Internet] raspoloživo na: <https://waymo.com/waymo-driver/> [11.08.2021.]

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

#### 4.1.1. Waymo Pacifica minivolumen<sup>8</sup>



**Slika 1 Waymo Pacifica minivolumen.**

Izvor: <https://blog.waymo.com/2019/08/introducing-waymos-suite-of-custom.html>

U svibnju 2016. godine pokrenuta je proizvodnja 100 novih Pacifica. Kako bi vozilo bilo što sigurnije, pouzdanije i pristupačnije te klasificirano kao razina 4 autonomije od strane SAE (Society of Automotive Engineers) samostalno su osmislili i proizveli sve senzore kako bi vozilo bilo spremno za samostalnu vožnju. Svi senzori, uključujući lidar senzore, senzore za vidni sustav i radare, su integrirani u jedinstveni sustav što garantira besprijeekorni rad autonomne vožnje.

---

<sup>8</sup> Waymo – Introducing Waymo's suite of custom-built, self-driving hardware [Internet] raspoloživo na: <https://blog.waymo.com/2019/08/introducing-waymos-suite-of-custom.html> [11.08.2021.]

Lidar - je jedan od najmoćnijih senzora u potpuno autonomnim vozilima jer može vidjeti oblike u tri dimenzije, detektirati nepomične objekte te precizno mjeriti udaljenost. Pacifica ima kompletan sustav od tri različite vrste Waymovih lidara koji omogućuju otkrivanje većeg broja objekata i gledanje istih u većoj razlučivosti.

Radar – Konvencionalni automobilske radari imaju usko vidno polje i uglavnom mogu samo pratiti automobile u pokretu. Waymov prilagođeni radarski sustav ima stalan pogled od 360 stupnjeva što mu dozvoljava praćenje objekata i vozila koji su obično skriveni od ljudskog oka. Waymovi radari su također konfigurirani tako da su mnogo osjetljiviji na sporije pokretne objekte kao što su pješaci i biciklisti.

#### 4.1.2. Peta generacija Waymo Driver-a<sup>9</sup>

Peta generacija Waymo Driver-a je predstavljena početkom 2020. godine. U suradnji s Jaguarom predstavljeno je prvo električno vozilo sa autonomnim pogonom Jaguar I-PACE (slika 2).



**Slika 2 Jaguar I-PACE**

Izvor: <https://blog.waymo.com/2020/03/introducing-5th-generation-waymo-driver.html>

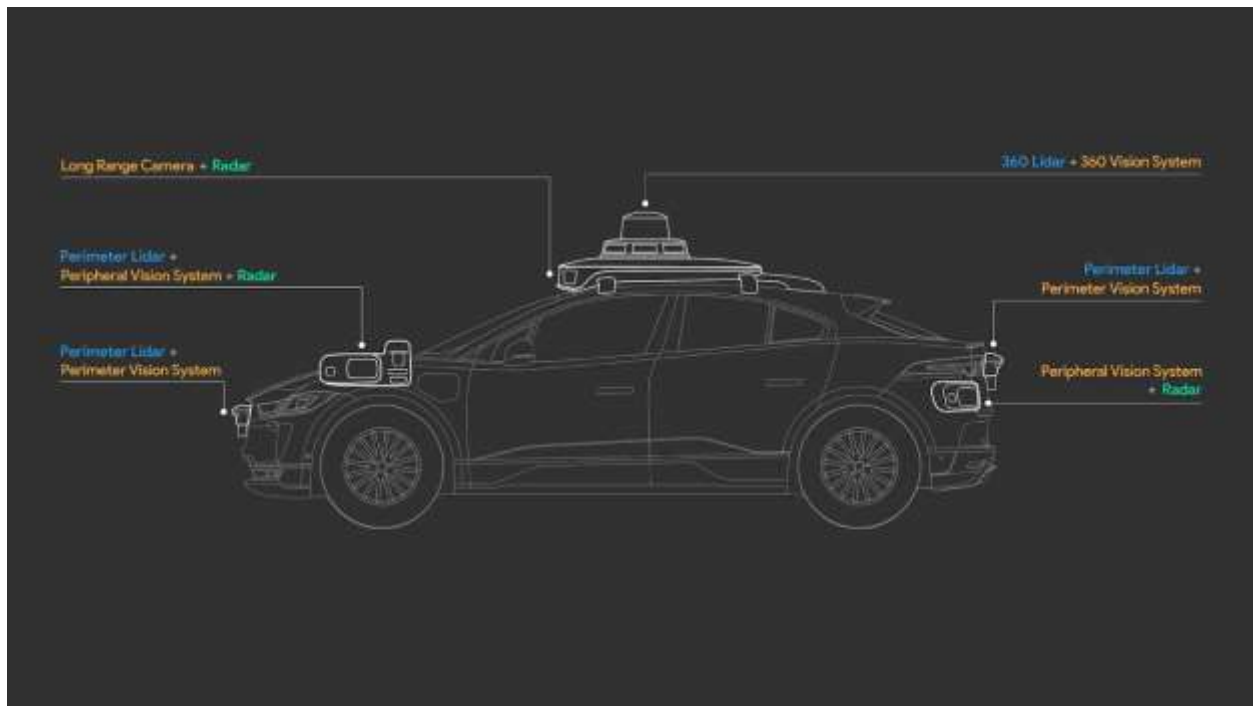
Kao jedan od najsnažnijih senzora Waymo Driver-a, lidar oslikava 3D sliku okruženja, omogućavajući mjerenje veličine i udaljenosti objekata oko vozila, bilo da su blizu ili udaljeni više od 300 metara. Novi 360 lidar sustav pruža pogled iz ptičje perspektive na automobile, bicikliste i pješake koji okružuju vozilo (slika 3).

Istovremeno, novi obodni lidari, postavljeni u četiri točke sa strana vozila, nude neusporedivu pokrivenost sa širokim vidnim poljem za otkrivanje objekata u blizini. Ovakav tip lidara kratkog

---

<sup>9</sup>Waymo – Designing the 5-th generation Waymo Driver [Internet] dostupno na: <https://blog.waymo.com/2020/03/designing-5th-generation-waymo-driver.html> [11.08.2021.]

dometa pruža poboljšanu prostornu razlučivost i točnost za kretanje po uskim ulicama u gradskom prometu i pokrivaju potencijalne mrtve točke na brdovitom terenu.



**Slika 3 LIDARI I-PACE**

Izvor: <https://blog.waymo.com/2020/03/introducing-5th-generation-waymo-driver.html>

Kamere Waymo sustava osmišljene su za snimanje detaljnijih i oštrijih slika u najtežim uvjetima vožnje zahvaljujući visokom dinamičkom rasponu i toplinskom stabilnošću. Najnovije kamere vide dalje nego kamere prethodne generacije što omogućava identifikaciju pješaka, drugih vozila, biciklista i prometnih znakova udaljenih više od 500 metara. Naprednim inovacijama u dizajnu, uključujući prilagođene leće i precizan optomehanički inženjering, sustav vida ima bolje performanse od većine današnjih kamera na automobilima.

Sustav perifernog vida pomaže smanjiti mrtve kutove uzrokovane parkiranim automobilima ili velikim vozilima. Ovakva vrsta perifernih kamera omogućava pregled situacije oko vozila koje vozi ispred, gledajući može li ga se sigurno preći ili je potrebno pričekati.

Zajedno, ove različite vrste kamera omogućuju donošenje odluka ranije, brže i informiranije.

Dok lidar pomaže vidjeti objekte, kamere pomažu razumjeti okolinu, radar oboje nadopunjuje svojom jedinstvenom sposobnošću da trenutno vidi i mjeri brzinu objekta čak i u teškim vremenskim uvjetima kao što su magla, snijeg i kiša. U paketu hardverskih senzora pete generacije, redizajnirana je arhitektura i mogućnost obrade signala koji pružaju visoku rezoluciju, velik domet i vidno polje.

## 4.2. BAIDU

Baidu je kineska multinacionalna tehnološka tvrtka i jedna od najvećih svjetskih tvrtki za internet i umjetnu inteligenciju. U 2013. godini Baidu započinje razvoj vozila bez vozača, a 2017. godine je započet projekt Apolong, poznat i kao Baidu Apollo (slika 4).



**Slika 4 Baidu - Apollo**

Izvor: <https://apollo.auto/robotaxi/index.html>

#### **4.2.1. Apollo komponente<sup>10</sup>**

##### **Skupovi podataka**

Baidu je izdao različite skupove podataka za programere Apolla kako bi testirali njihove algoritme, uvježbali duboke NN modele. Trenutno postoje dva otvorena skupa podataka, Apollo-SouthBay i Apollo-DaoxiangLake. Podaci su prikupljeni u Silicijskoj dolini u Kaliforniji u Sjedinjenim Državama i jezeru Daoxiang u Pekingu u Kini. Skupovi podataka sadrže skeniranje lidara s vremenskim žigom, slike fotoaparata i naknadno obrađene GPS putanje.

##### **Pametna kontrola**

Apollo inteligentni moduli za upravljanje vozilom i canbus-proxy moduli precizni su, široko primjenjivi i prilagodljivi različitim okruženjima. Moduli obrađuju različite uvjete na cesti, brzine, tipove vozila i protokole za canbus. Apollo pruža mogućnost praćenja putnih točaka s točnošću kontrole od 10 cm.

##### **Planiranje**

Apollo vozila opremljena su sustavom planiranja koji se sastoji od predviđanja, ponašanja i logike kretanja. Sustav planiranja prilagođava se prometnim uvjetima u stvarnom vremenu, što rezultira preciznim putanjama koje su sigurne i udobne. Trenutno sustav planiranja funkcionira na fiksnoj ruti i u noćnim i u dnevnim uvjetima.

##### **HD karte i lokalizacija**

Baidu je bio jedan od začetnika u opsežnoj primjeni tehnologije dubokog učenja i umjetne inteligencije za stvaranje karti te je jedna od rijetkih kineskih tvrtki sposobnih za proizvodnju podataka o kartiranju u velikom opsegu.

Sustav lokalizacije sveobuhvatno je rješenje za pozicioniranje s centimetarskom točnošću temeljeno na GPS -u, IMU -u, HD karti i raznim senzorskim ulazima.

---

<sup>10</sup>Apollo – Open Platform [Internet] dostupno na: <https://apollo.auto/developer.html> [21.08.2021.]

## **Simulacija**

Simulacija pruža mogućnost virtualne vožnje milijunima kilometara dnevno pomoću niza prometnih situacija u stvarnom svijetu i podataka o autonomnoj vožnji. Putem usluge simulacije, partneri dobivaju pristup velikom broju autonomnih scena vožnje kako bi brzo testirali, potvrdili i optimizirali modele sa sveobuhvatnom pokrivenošću na siguran i učinkovit način.

## **Precizna percepcija**

Razni senzori, poput lidara, kamera i radara prikupljaju podatke o okolišu oko vozila. Pomoću algoritama percepcije spojene tehnologije može se u stvarnom vremenu odrediti vrsta, mjesto, brzina i orijentacija objekata na cesti.

Ovaj autonomni sustav percepcije podržava Baidu-ove velike podatke i tehnologije dubokog učenja, kao i ogromnu zbirku podataka o vožnji označenih u stvarnom svijetu. Velika platforma za duboko učenje i GPU klasteri drastično skraćuju vrijeme učenja za velike količine podataka.

Nakon obuke, novi se modeli postavljaju na vozilo pomoću bežičnih ažuriranja kroz oblak.

Umjetna inteligencija i rješenja vođena podacima kombiniraju kako bi omogućili Apolonovu sustavu percepcije da neprestano poboljšava svoje sposobnosti otkrivanja i prepoznavanja, koji pružaju točan, stabilan i pouzdan ulaz za druge module autonomnog sustava.

### **4.2.2. V2X – rješenje za inteligentnu suradnju u infrastrukturi vozila<sup>11</sup>**

Apollo V2X je sveobuhvatno izgrađeni inteligentni transportni sustav za prikupljanje podataka o cestama i inteligentnu analizu obrade podataka te pruža cjelovitu sliku o prometu.

Pružuje potpunu, kontinuiranu, multimodalnu podatkovnu uslugu niske latencije za vozila s autonomijom razine 4 testirana u više scenarija što dozvoljava vozilu da napravi odluku u milisekundi. Također prikuplja slike cestovnih mreža te emitira položaj i brzinu vozila.

---

<sup>11</sup>Apollo – V2X, Intelligent Vehicle Infrastructure Cooperation Solution [Internet] dostupno na: <https://apollo.auto/v2x/index.html> [21.08.2021.]

Sustav opaža i razumije ponašanje svih sudionika u prometu gdje točnost mjerenja doseže razinu ispod jednog metra.

Neprestano prikupljanje informacija o prometu se pohranjuje na oblak na razini grada ili većeg područja kako bi se postigle optimalne mogućnosti suradničke kontrole za sudionike u prometu.

Sve informacije se prikupljaju preko interno razvijenog uređaja koji kombinira senzore s računalnom jedinicom kako bi informacije bile uspješno obrađene i pohranjene na oblak (slika 5).



**Slika 5 Apollova interno razvijena računalna jedinica**

Izvor: <https://apollo.auto/v2x/index.html>

### 4.3. PONY.AI

Pony.ai je tvrtka za tehnologiju autonomnih vozila osnovana 2016. godine, a nalazi se u Silicijskoj dolini, Pekingu i Guangzhouu. Razvijaju svoju tehnologiju tako da su njihova vozila spremna suočiti se sa zahtjevnim uvjetima na cestama diljem Kine i Amerike.

Pony.ai prvi je pokrenuo uslugu Robotaxi u prosincu 2018., dopuštajući putnicima da pozovu samovozeće automobile putem aplikacije PonyPilot+ kako bi započeli putovanje. Usluga je trenutno dostupna u Guangzhou, Pekingu, Irvinu, i Fremontu.<sup>12</sup>

Danas, Pony.ai ima nekoliko modela automobila koje može ponuditi tržištu, a to su:

- BYD Qin
- Lincoln MKZ
- Hyundai KONA
- Lexus RX 450
- Aion LX
- E-HS3

#### 4.3.1. Pony.ai komponente<sup>13</sup>

##### Lokalizacija i mape

Lokalizacija je ključna za vozila kako bi se odredilo njegovo precizno fizičko mjesto - do centimetarske točnosti. Njihov pristup fuzije s više senzora pruža bogate skupove podataka koji nam omogućuju razumijevanje statičkog svijeta oko nas, pružajući ključne informacije potrebne za operacije sigurne vožnje.

---

<sup>12</sup>Pony.ai – Autonomous Mobility Everywhere [Internet] dostupno na: <https://www.pony.ai/> [23.08.2021]

<sup>13</sup>Pony.ai – Technology [Internet] dostupno na: <https://pony.ai/tech?lang=en> [23.08.2021.]

## **Percepcija**

Modul percepcije kombinira snage heurističkog pristupa i modela dubokog učenja za povećanje performansi, istovremeno osiguravajući sigurnost i operativnost vozila. Sposobnost izvedbe dodatno je poboljšana našom tehnologijom fuzije s više senzora, koja inteligentno koristi pouzdane podatke senzora ovisno o različitim okruženjima ili scenarijima vožnje.

## **Predviđanje**

Modul predviđanja djeluje na projiciranje načina na koji se druga vozila, pješaci i objekti (zajedno, "cestovni agenti") mogu kretati ili ponašati na temelju nekoliko ulaza, uključujući izlaz percepcije, neobrađene podatke senzora i podatke u vezi s prethodnim odlukama koje je donio cestovni agent (tj. slijed događaja). Izlaz modula predviđanja za određenog agenta na cesti je niz predviđenih putanja, svaka s dodijeljenom vjerojatnosti pojavljivanja.

## **Planiranje i kontrola**

Pony spaja strojno učenje i duboko učenje kako bi stvorili robustan modul za planiranje i kontrolu koji može nesmetano upravljati složenim scenarijima cesta - od ulica i autocesta u Kaliforniji do užurbanih raskrižja s osam traka u kineskim metropolama, dok je vozilo spremno za izvanredno ponašanje ili događaje uzrokovane od strane drugih agenata za ceste.

## **Infrastruktura**

Uspješno uvođenje i autonomija tehnologije autonomne vožnje oslanjaju se na čitav niz prateće infrastrukture. Od ugrađenog sustava u stvarnom vremenu do obrade i upravljanja podacima izvan vozila, izgradili su čvrste temelje koji pokreću brzu iteraciju, skalabilan razvoj visokokvalitetnog sustava i učinkovito testiranje u svim aspektima razvoja softvera i hardvera.

## **Hardver**

Izvrzne performanse, visoka pouzdanost i spremnost za implementaciju ključni su vodiči hardverskih rješenja. Njihovi inženjeri prilagođeno su dizajnirali fuzijski modul senzora i računalni sustav kako bi spojili komponente visokih performansi zajedno s najsuvremenijim softverom, što je rezultiralo čvrsto integriranim sustavom punog slaganja. Svi elementi koji su ključni za vožnju i sigurnost opremljeni su hardverskim viškovima.

#### 4.3.2. PonyAlpha<sup>14</sup>

Proizvodnja PonyAlpha-e je obilježila prekretnicu u kineskoj industriji autonomnih vozila, predstavljajući prvi autonomni sustav u državi spreman za korištenje. PonyAlpha, cjelovito rješenje za autonomnu vožnju, postiglo je razinu stabilnosti i performanse koji su potrebni za održavanje voznog parka koji se stabilno povećava od veljače 2018. godine u Guangzhouu (slika 7).

PonyAlpha sadrži značajna poboljšanja u hardveru i softveru od prototipnih vozila ranijih generacija. Što se tiče hardvera, novi sustav uključuje povećanu pokrivenost senzora dodatnim lidar sensorima, radarima i kamerama. Kako bi podržao dodatne senzore, PonyAlpha također ima visoko optimiziranu hardversku platformu, što je rezultiralo potpuno integriranim sustavom. Ovaj paket senzora i konfiguracija proizvod su opsežnog testiranja u različitim američkim i kineskim okruženjima. Sveukupno, cijeli senzorski paket može vidjeti udaljenosti od otprilike 200 metara, što omogućuje širok raspon scenarija vožnje pri još većim brzinama.

---

<sup>14</sup>Intrado GlobeNewswire – Pony.ai debuts product-ready autonomous vehicle fleet [Internet] dostupno na: <https://www.globenewswire.com/news-release/2018/09/20/1573978/0/en/Pony-ai-debuts-product-ready-autonomous-vehicle-fleet.html> [23.08.2021.]



**Slika 6 PonyAlpha hardverski senzor**

Izvor: <https://www.globenewswire.com/NewsRoom/AttachmentNg/2472b857-4bc3-4e38-a55a-633106bbdb8b>

Najznačajnija promjena u algoritmima PonyAlpha dolazi iz dubokog i prilagodljivog fuzijskog modula senzora (slika 6). Zbog pristupa s više senzora (lidar, radar, kamera), fuzija senzora (odnosno spajanje različitih podataka s više senzora) neizostavan je dio tehnologije autonomne vožnje. Tehnologija fuzije senzora tvrtke Pony.ai sposobna je inteligentno koristiti najpouzdanije podatke senzora ovisno o različitim okruženjima ili scenarijima vožnje. Dakle, vozila Pony.ai imaju sveobuhvatno i točno razumijevanje okoline, a istovremeno održavaju vrlo učinkovit proces vožnje. Krajnji rezultat nije samo sustav koji je vrlo precizan i učinkovit, već i sustav koji pruža glatko i „ljudsko“ iskustvo vožnje.



**Slika 7 PonyAlpha**

Izvor: <https://www.globenewswire.com/NewsRoom/AttachmentNg/59bd4d49-fa0d-42b6-b424-11046ba40c65>

Međutim, izgradnja i rad s autonomnom flotom koja voze ne zahtijeva samo jaku tehnologiju. Uspješna implementacija i opseg oslanjaju se na čitav niz prateće infrastrukture. Osim uvođenja PonyAlpha-e, tim Pony.ai radio je na nekoliko drugih kritičnih sposobnosti flote: Pony.ai Centar za upravljanje vozilima (engl. Pony.ai Vehicle Control Center) i njegovo sučelje u vozilu PonyHI (Pony Human Interface). Centar za upravljanje vozilima Pony.ai omogućuje centralizirano upravljanje, praćenje i otpremu svih vozila u svom voznom parku.

Za putnike, lansiranje PonyHI -a pruža im izravan pogled u „mozak“ vozila (slika 8). Putnici mogu pratiti svaki potez i odluku vozila dok identificira, klasificira i planira na temelju svog okruženja. Na ekranu putnici mogu očekivati cestovne agente kao što su vozila, bicikliste ili pješake, kao i prometnu infrastrukturu, poput prometnih znakova ili oznaka traka. Dok se ti predmeti pojavljuju i kreću na zaslonu, putnici mogu promatrati i kako „vozač“ poduzima točne i pravovremene radnje, čime se uspostavlja transparentnost i povjerenje između čovjeka i stroja.



**Slika 8: PonyHI**

Izvor: <https://www.globenewswire.com/NewsRoom/AttachmentNg/9b845d30-530b-4826-a502-e8b719ae8880>

#### **4.4. Komparacija Waymo, Baidu, Pony.ai**

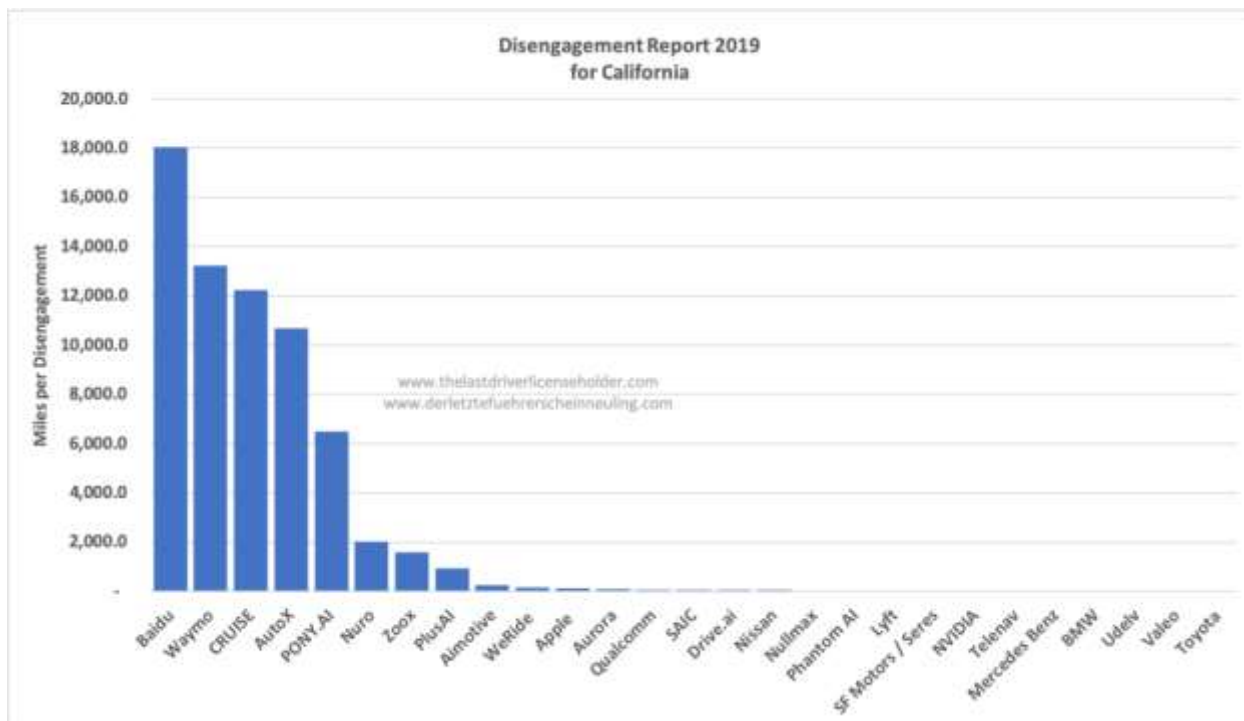
Za komparaciju uspješnosti Waymo, Baidu i Pony.ai tvrtki koriste se godišnji izvještaji iz 2019. i 2020. godine objavljeni od strane Kalifornijskog odjela za motorna vozila (engl. California Department of Motor Vehicles, DMV). Izvještaj sadrži informacije o tvrtki, broju prijedjenih kilometara te o broju grešaka u vožnji, odnosno koliko je puta čovjek morao preuzeti kontrolu nad vozilom.

##### **4.4.1. Godišnji izvještaj za 2019. godinu<sup>15</sup>**

2019. godine je sudjelovalo ukupno 36 tvrtki sa 676 automobila koji su zajedno prešli 2.880.612 milja (4.635.895 kilometara) te imali 9.338 pogrešaka gdje je čovjek preuzeo kontrolu.

---

<sup>15</sup>The Last Driver License Holder – Disengagement Report 2019 [Internet] dostupno na: <https://thelastdriverlicenseholder.com/2020/02/26/disengagement-report-2019/> [26.08.2021.]



**Slika 9: Godišnji izvještaj za 2019. godinu**

Izvor: <https://thelastdriverlicenseholder.com/2020/02/26/disengagement-report-2019/>

Slika 9 prikazuje prosjek koliko je milja prijedeno po jednoj greški u 2019. godini.

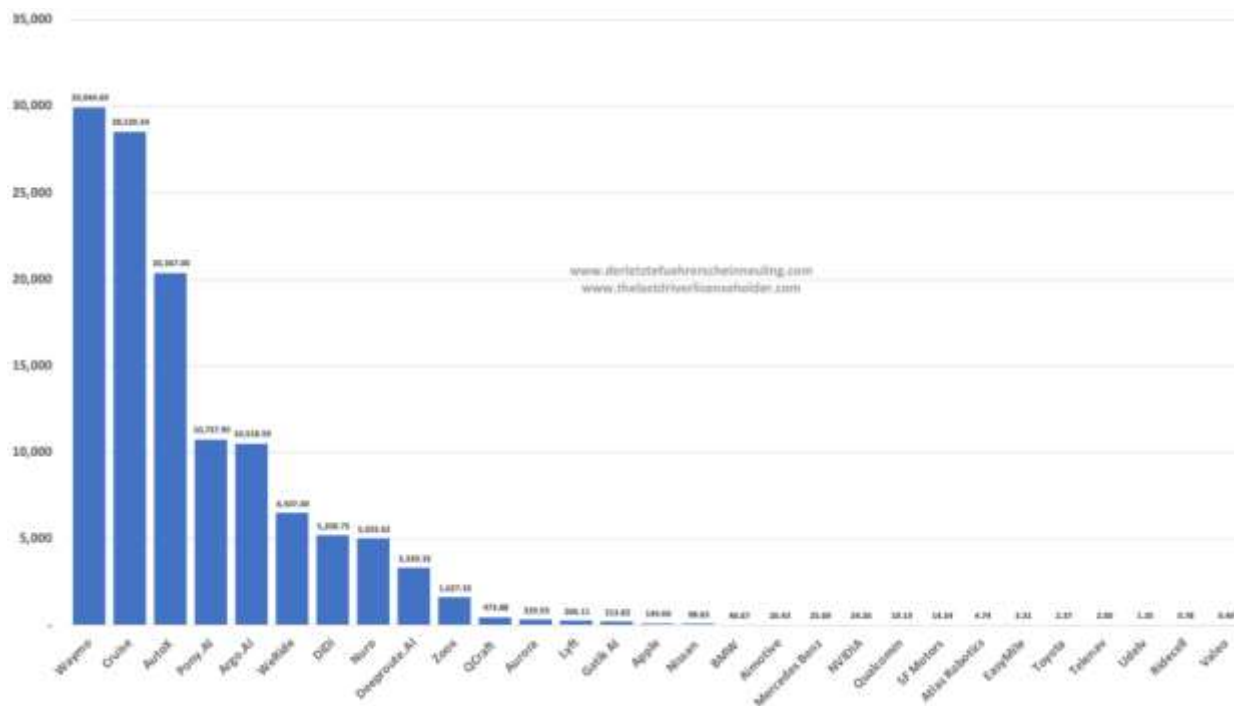
Baidu se nalazi na prvom mjestu gdje je ljudska asistencija bila potrebna svakih 18.050 milja (29.050 kilometara). Sveukupno su testirana 4 automobila koja su prešla 108.300 milja (174.291,95 kilometara), a ukupni broj grešaka je 6.

Drugo mjesto zauzima Waymo koji je u prosjeku vozio 13.219 milja (21.274 kilometra) bez ljudske asistencije. Sveukupno je testirano 148 automobila koja su prešla 1.454.137 milja (2.340.206 kilometara), a ukupni broj grešaka je 110.

Pony.ai zauzima peto mjesto kojemu je bila potrebna ljudska asistencija svakih 6.457,8 milja (10.422 kilometara). Sudjelovala su 22 automobila koja su prešla 174.845 milja (281.386 kilometara), a ukupni broj grešaka je 27.

#### 4.4.2. Godišnji izvještaj za 2020. godinu<sup>16</sup>

2020. godine je sudjelovalo 29 tvrtki koje su sa svojim automobilima prešle 1.955.208 milja (3.128.333 kilometara).



Slika 10: Godišnji izvještaj za 2020. godinu

Izvor: <https://thelastdriverlicenseholder.com/2021/02/09/2020-disengagement-reports-from-california/>

Slika 10 prikazuje prosjek koliko je milja prijeđeno po jednoj greški u 2020. godini.

Prvo mjesto zauzima Waymo koji je u prosjeku vozio 29.944,69 milja (47.911,5 kilometra) bez ljudske asistencije. Ukupno je prešao 628.839 milja (1.006.142 kilometara), dok je ukupni broj grešaka bio 21.

Pony.ai zauzima četvrto mjesto koji je u prosjeku prelazio 10.737,3 milja (17.180,65 kilometara) bez ljudske pomoći. Ukupno je prešao 225.496 milja (360.794 kilometara), a ukupni broj grešaka je bio 21.

<sup>16</sup>The Last Driver License Holder – 2020 Disengagement Reports from California [Internet] dostupno na: <https://thelastdriverlicenseholder.com/2021/02/09/2020-disengagement-reports-from-california/> [26.08.2021.]

Za 2020. godinu Baidu nije dostavio podatke o testiranju autonomnih automobila.

## 5. BUDUĆNOST AUTONOMNE VOŽNJE (RAZINA 5 AUTONOMIJE)

Kao što je već prethodno objašnjeno razina 5 predstavlja potpunu automatizaciju vožnje. Ovaj tip automobila neće imati upravljač kao ni papučice za ubrzavanje i kočenje te neće zahtijevati ljudsku pomoć pri vožnji. Potpuno autonomni automobili još nisu dostupni široj javnosti, ipak provodi se njihovo testiranje na nekoliko svjetskih lokacija.<sup>17</sup>

Mnogi proizvođači automobila danas razvijaju potpuno autonomna vozila. Najviše se ističu Ford, Volvo, Tesla, General Motors, Audi, BMW i drugi. Međutim najviše informacija o tehnologiji koju koriste i razvijaju nudi Tesla.

### 5.1. TESLA<sup>18</sup>

Jedan od proizvođača automobila koji intenzivno radi na automobilu razine 5 autonomije je Tesla. Teslin osnivač i izvršni direktor, Elon Musk, najavio je kako će potpuno samovozeći automobil biti spreman do kraja 2021. godine.

Ključ dolaska do razine 5 autonomije uključuje Tesline neuronske mreže za korištenje snimki s kamera, a zatim automatizirana obrada tih snimaka. Tesla također radi na superračunalu „Dojo“ koji bi trebao preuzeti prethodno spomenuti zadatak.

Teslini inženjeri umjetne inteligencije rade na poboljšanju udobnosti i sigurnosti FSD sustava. Počinje s trodimenzionalnim vektorskim prostorom koji se stvara dok vozilo osjeti svoju okolinu kroz svojih osam kamera. Tih osam kamera se ispravljaju, a zatim spajaju u jedinstveni virtualni model predviđanja okoliša koji računalima automobila daje pogled iz ptičje perspektive u okruženje. Dio obrađenih podataka vektorskog prostora vidljiv je na nadzornoj ploči Tesle, a podaci o cestama, vozilima i pješacima prikazani su jednostavnim detaljima na središnjem ekranu.

---

<sup>17</sup> Synopsys - The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained [Internet] dostupno na: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html> [29.07.2021.]

<sup>18</sup> Road Show - Elon Musk says Tesla's Full Self-Driving tech will have Level 5 autonomy by the end of 2021 [Internet] dostupno na: <https://www.cnet.com/roadshow/news/elon-musk-full-self-driving-tesla-earnings-call/> [01.09.2021]

Teslini inženjeri također su objasnili nove metode prepoznavanja i otkrivanja okoliša koje koriste kako bi povećali točnost karte vektorskog prostora i preciznost navigacije. Na primjer, umjetna inteligencija može predmemorirati informacije u kratkoročnoj memoriji kako bi zadržala položaj vozila koja čekaju na raskrižju, čak i ako su trenutno blokirana unakrsnim prometom. Sustav je također u stanju zapamtiti i predvidjeti položaj vodećeg automobila na autocesti, čak i ako mu je vid privremeno blokirano snijegom ili prskanjem vode, pa čak i bez pomoći radarskih podataka o udaljenosti.

Podatke o vektorskom prostoru koristi ono što Tesla naziva Neural Net Planner, skup algoritama koji upravljaju stvarnim usmjeravanjem, putanjom i ponašanjem automobila na cesti pri korištenju FSD -a. Planer obrađuje svaki zavoj, svaki zaokret oko pješaka i svaku promjenu trake. Osim što izvodi tisuće simulacija u minuti kako bi odlučila o svom najboljem načinu djelovanja, ona također mora simulirati i predvidjeti ponašanje drugih automobila, pješaka i biciklista. Sustav može odlučiti hoće li popustiti nadolazećem vozilu na temelju njegove brzine, putanje i predviđenih namjera vozača. A kad se taj vozač predomisli i uspori prolazak Tesle, FSD reagira, od popuštanja do preuzimanja prednosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije i proces globalizacije doveli su do potrebe i želje za razvijanjem autonomnih automobila. Umjetna inteligencija je odigrala veliku ulogu u razvitku tehnologije koja se danas koristi u autonomnim automobilima kao što su lidari, radari, senzori, kamere, i slično.

Glavni cilj je razviti automobile gdje ljudska pomoć neće biti potrebna ni moguća, odnosno automobili neće imati upravljač, kao ni papučice za ubrzavanje i kočenje. Na tržištu još uvijek ne postoji takvi automobili, ali proizvođači na svjetskom tržištu ulažu velike resurse kako bi ih se što prije plasiralo na isto.

Najviši doseg autonomije, koji danas imamo na tržištu je razina 4. Ona predstavlja visoku automatizaciju vožnje gdje automobili u većini situacija ne zahtijevaju ljudsku pomoć te sami mogu intervenirati ukoliko dođe do neočekivane situacije ili greške u sistemu. Iako ovi automobili mogu voziti samostalno, čovjek uvijek ima mogućnost preuzimanja kontrole nad vozilom.

U ovom radu su odabrane tri tvrtke koje su razvile tehnologiju kako bi se njihovi automobili klasificirali kao razina 4 autonomije, a to su Waymo, Baidu i Pony.ai.

Komparacija je bazirana na izvještajima iz 2019. i 2020. godine od strane kalifornijskog odjela za motorna vozila koji nam nude uvid u informacije o tvrtki, broju prijeđenih kilometara i broju grešaka u vožnji, odnosno koliko je puta čovjek morao preuzeti kontrolu u vožnji jer sustav nije uspio adekvatno reagirati. Izvještaj iz 2019. godine pokazuje kao je Baidu bio najuspješniji, međutim 2020. godine nisu dostavili podatke o testiranju. Pony.ai 2019. godine zauzima peto, a 2020. godine četvrto mjesto na ljestvici. Waymo je 2019. godine bio na drugom mjestu, dok je 2020. godine zauzeo prvo mjesto na ljestvici sa čak prijeđenih 1.000.000 kilometara. Iz izvještaja možemo zaključiti da je Waymo najuspješniji od tri tvrtke obzirom da je 2019. bio na drugom mjestu, a 2020. godine na prvom s najviše prijeđenih kilometara i minimalnim brojem grešaka.

## LITERATURA

1. Akerkar, R. (2014): Introduction to Artificial Intelligence, Second Edition, Western Novel Research Institute, Sogndal, Norway, str. 2-3
2. Apollo – Open Platform [Internet] dostupno na: <https://apollo.auto/developer.html> [21.08.2021.]
3. Apollo – V2X, Intelligent Vehicle Infrastructure Cooperation Solution [Internet] dostupno na: <https://apollo.auto/v2x/index.html> [21.08.2021.]
4. Intrado GlobeNewswire – Pony.ai debuts product-ready autonomous vehicle fleet [Internet] dostupno na: <https://www.globenewswire.com/news-release/2018/09/20/1573978/0/en/Pony-ai-debuts-product-ready-autonomous-vehicle-fleet.html> [23.08.2021.]
5. Jazar, R.N., Dai, L. (2020): Nonlinear Approaches in Engineering Applications: Automotive Applications of Engineering Problems, str. 42-44
6. Ondruš, J., Kolla, E., Vertal, P., Šarić, Ž. (2020): How Do Autonomous Cars Work?, Transportation Research Procedia, Vol. 44, str. 226-233
7. Pony.ai – Autonomous Mobility Everywhere [Internet] dostupno na: <https://www.pony.ai/> [23.08.2021]
8. Pony.ai – Technology [Internet] dostupno na: <https://pony.ai/tech?lang=en> [23.08.2021.]
9. Road Show - Elon Musk says Tesla's Full Self-Driving tech will have Level 5 autonomy by the end of 2021 [Internet] dostupno na: <https://www.cnet.com/roadshow/news/elon-musk-full-self-driving-tesla-earnings-call/> [01.09.2021]
10. Sagar, V., Nanjundeswaraswamy, Dr. (2019). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTONOMOUS VEHICLES - A LITERATURE REVIEW, i-manager's Journal on Future Engineering and Technology, Vol. 14, No. 3, str. 56-62
11. Synopsys - The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained [Internet] dostupno na: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html> [29.07.2021.]
12. Synopsis – What is an autonomous car? [Internet] dostupno na: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-autonomous-car.html> [26.08.2021.]

13. The Last Driver License Holder – 2020 Disengagement Reports from California [Internet]  
dostupno na: <https://thelastdriverlicenseholder.com/2021/02/09/2020-disengagement-reports-from-california/> [26.08.2021.]
14. The Last Driver License Holder – Disengagement Report 2019 [Internet] dostupno na:  
<https://thelastdriverlicenseholder.com/2020/02/26/disengagement-report-2019/>  
[26.08.2021.]
15. Waymo – Designing the 5-th generation Waymo Driver [Internet] dostupno na:  
<https://blog.waymo.com/2020/03/designing-5th-generation-waymo-driver.html>  
[11.08.2021.]
16. Waymo – Introducing Waymos's suite of custom-built, self-driving hardware [Internet]  
raspoloživo na: <https://blog.waymo.com/2019/08/introducing-waymos-suite-of-custom.html> [11.08.2021.]
17. Waymo – Waymo Driver [Internet] raspoloživo na: <https://waymo.com/waymo-driver/>  
[11.08.2021.]

## POPIS SLIKA

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Slika 1 Waymo Pacifica minivolumen,</b>                   | <b>14</b> |
| <b>Slika 2 Jaguar I-PACE</b>                                 | <b>16</b> |
| <b>Slika 3 LIDARI I-PACE</b>                                 | <b>17</b> |
| <b>Slika 4 Baidu - Apollo</b>                                | <b>18</b> |
| <b>Slika 5 Apollova interno razvijena računalna jedinica</b> | <b>21</b> |
| <b>Slika 6 PonyAlpha hardverski senzor</b>                   | <b>25</b> |
| <b>Slika 7 PonyAlpha</b>                                     | <b>26</b> |
| <b>Slika 8: PonyHI</b>                                       | <b>27</b> |
| <b>Slika 9: Godišnji izvještaj za 2019. godinu</b>           | <b>28</b> |
| <b>Slika 10: Godišnji izvještaj za 2020. godinu</b>          | <b>29</b> |

## SAŽETAK

U ovom radu približena je tema umjetne inteligencije i njeno korištenje u industriji automobila. Umjetna inteligencija ima veliki utjecaj na današnji životni stil i ima veliki spektar upotrebe u svakidašnjem životu. Potpuno autonomno vozilo razine 5 autonomije još nije usavršeno ali mnogi rade na tome. To je vozilo koje može „osjetiti“ svoju okolinu i raditi bez ljudskog posredništva, gdje čovjek u nijednom trenutku ne preuzima kontrolu nad vozilom, niti je potrebno da putnik bude u vozilu. Tehnologija je dovoljno uznapredovala da danas na tržištu postoje automobili razine 4 autonomije, što predstavlja visoku automatizaciju vožnje. Automobili četvrte razine autonomije mogu voziti samostalno, ali ipak postoji mogućnost da čovjek u bilo kojem trenutku može preuzeti kontrolu.

Ključne riječi: umjetna inteligencija, razine autonomije, autonomno vozilo

## **SUMMARY**

In this paper, the topic of artificial intelligence and its use in the automotive industry is approached. Artificial intelligence has a major impact on today's lifestyle and has a wide range of uses in everyday life. A fully autonomous level 5 autonomy vehicle has not yet been perfected but many are working on it. It is a vehicle that can "feel" its surroundings and work without human intervention, where a person never takes control of the vehicle, nor is it necessary for the passenger to be in the vehicle. The technology is advanced enough that there are level 4 autonomy cars on the market today, which represents high driving automation. Fourth-level autonomy cars can drive independently, but there is still the possibility that a human can take control at any time.

Key words: artificial intelligence, autonomy levels, autonomous vehicle