

IZAZOVI AUTONOMNE VOŽNJE / CHALLENGES OF AUTONOMOUS DRIVING

Prof. dr. sc. Sinan Alispahić¹, dipl. ing.

¹ Internacionalni Univerzitet Travnik u Travniku, Saobraćajni fakultet Travnik u Travniku, Aleja

Konzula – Meljanac b.b., BiH

e-mail: sinan.alispahic@iu-travnik.com

Pregledni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501015>

UDK / UDC 656.13:004.8

Sažetak

Mobilnost i promet imaju ključnu ulogu za sve segmente društva, jer omogućuju dostupnost, gospodarski razvoj i bolju kvalitetu života. Unatoč brojnim učincima za korisnike, mobilnost uzrokuje i izazove koji uključuju prometne nesreće s poginulima i ozlijeđenima, emisije štetnih plinova, onečišćenje zraka i vode, prometno zagušenje i gubitak biološke raznolikosti. Proces digitalizacije postao je neizostavan pokretač modernizacije cijelog prometnog sustava te ga čini pouzdanim i učinkovitijim. Intenzivna uporaba automatizacije dodatno povećava sigurnost cestovnog prometa, zaštitu ljudskih života, pouzdanost i udobnost u pružanju povezanih usluga mobilnosti. Autonomna vožnja predstavlja jednu od najvažnijih tehnoloških transformacija suvremenog cestovnog prometa. Očekuje se da će autonomna i visoko automatizirana vozila doprinijeti smanjenju broja prometnih nesreća, povećanju učinkovitosti prometnog sustava, boljoj dostupnosti te razvoju novih poslovnih modela poput robotaxi usluga. Međutim, razvoj i implementacija autonomne vožnje suočava se s nizom tehničkih, sigurnosnih, pravnih, etičkih, infrastrukturnih i društvenih izazova. Ovaj rad razmatra ključne zapreke u razvoju autonomnih vozila, uspoređuje pristupe vodećih proizvođača razvoju te prikazuje kvantitativne ključne pokazatelje i performanse autonomnih vozila. Posebna pozornost posvećena je usporedbi strategija pojedinih proizvođača autonomnih vozila, uz kritičku procjenu koji je pristup optimalan i realan za europski prometni i regulatorni prostor.

Ključne riječi: autonomna vožnja, autonomna vozila, SAE razine, sigurnost prometa, umjetna inteligencija, regulativa

JEL klasifikacija: R41, O33, L51

Abstract

Mobility and transport play a key role for all segments of society, as they enable accessibility, economic development and a better quality of life. Despite numerous impacts for users, mobility also causes challenges that include traffic accidents with fatalities and injuries, harmful gas emissions, air and water pollution, traffic congestion and biodiversity loss. The process of digitalization has become an indispensable driver of the modernization of the entire transport system, making it more reliable and efficient. The intensive use of automation further increases road safety, the protection of human lives, reliability and comfort in the provision of related mobility services. Autonomous driving represents one of the most important technological transformations of modern road transport. Autonomous and highly automated vehicles are expected to contribute to reducing the number of traffic accidents, increasing the efficiency of the transport system, better accessibility and the development of new business models such as robotaxi services. However, the development and implementation of autonomous driving faces a number of technical, safety, legal, ethical, infrastructural and social challenges. This paper examines the key barriers to the development of autonomous vehicles, compares the approaches of leading manufacturers to development, and presents quantitative key indicators and performances of autonomous vehicles. Special attention is paid to comparing the strategies of individual autonomous vehicle manufacturers, with a critical assessment of which approach is optimal and realistic for the European traffic and regulatory space.

Keywords: autonomous driving, autonomous vehicles, SAE levels, traffic safety, artificial intelligence, regulation

JEL klasifikacija: R41, O33, L51

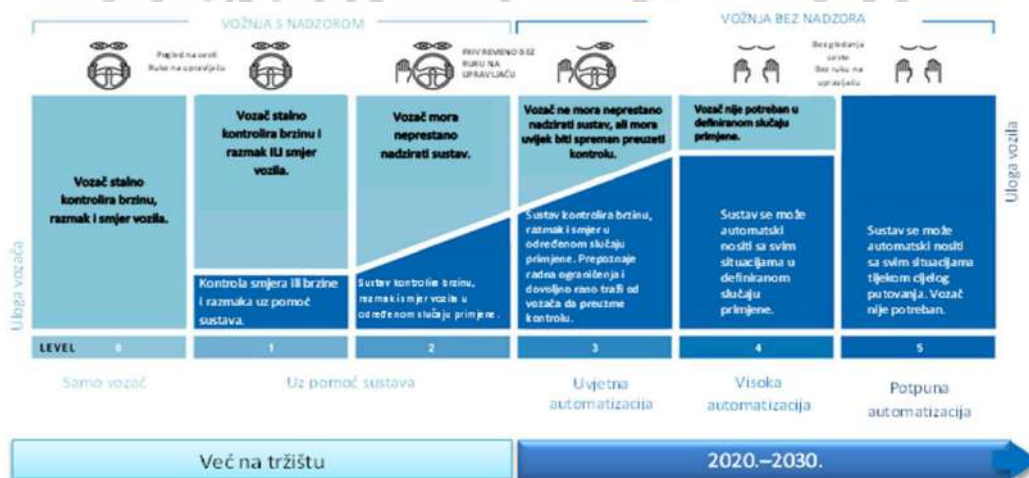
UVOD

Automatizirana vožnja obuhvaća sustave koji u različitoj mjeri preuzimaju zadatke upravljanja vozilom od vozača. Međunarodno prihvaćena SAE J3016 klasifikacija razlikuje razine od 0 do 5, pri čemu razine od 0 do 2 zahtijevaju stalni nadzor vozača, razina 3 omogućuje uvjetnu automatizaciju, a razine 4 i 5 predstavljaju visoku odnosno potpunu automatizaciju (SAE International, 2021). Autonomna vozila često se predstavljaju kao rješenje za smanjenje ljudske pogreške, koja je jedan od dominantnih čimbenika prometnih nesreća. Ipak, razvoj autonomne vožnje ne predstavlja samo tehničko pitanje, već uključuje pravne, etičke i društvene odluke.

Razvoj autonomnih vozila predstavlja jednu od najvažnijih tehnoloških inovacija u suvremenom prometnom sustavu. Napredak u području umjetne inteligencije, senzorskih tehnologija i računalne obrade podataka omogućio je značajan pomak prema vozilima koja mogu samostalno donositi odluke u prometu (Parekh et al., 2022). Ova tehnologija obećava smanjenje prometnih nesreća, povećanje učinkovitosti prijevoza i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Međutim, Lu et al. (2025) naglašavaju kako sigurnost i procjena rizika ostaju ključni izazovi u razvoju autonomnih sustava.

1. RAZINE AUTOMATIZIRANE VOŽNJE

Mobilnost prelazi digitalnu granicu povećanjem automatizacije i povezanosti vozila u cestovnom prometu. Napredak i razvoj u području umjetne inteligencije otvara novi okvir razvoja i suradnje među sudionicima prometa. Takav oblik suradnje među njima kao i prometnom sustavu i sustavu mobilnost donosi ogromne koristi, a naročito u području sigurnosti cestovnog prometa, dostupnosti i održivosti prometa. Posebno su velika očekivanja od mobilnosti bez vozača u postizanju društvenih ciljeva kada se u cijelosti integrira u prometni sustav s mjerama potpore koje se odnose na dekarbonizaciju. U konačnici se očekuje da će to dovesti do postizanja „Vizije nula“, tj. bez smrtnih slučajeva u cestovnom do 2050. Automatizirana vozila još nisu spremna za rad bez nadzora ljudskog faktora. Bez obzira na brojna testiranja i primjenu na ograničeno području, još uvijek su prisutni brojni tehnički izazovi koje treba riješiti kako bi se osiguralo da je vozilo u potpunosti sposobno biti autonomno i osjetiti svoju okolinu, razumjeti je i poduzeti ispravne mjere kao što to čini vozač. Udruženje inženjera automobilske industrije (SAE) definiralo je šest razina automatizacije vožnje, od razine 0 do razine 5, gdje razina 5 označava potpunu autonomiju (Raheman et al., 2024). Razine automatizacije prikazane su i opisane su na slici 1.



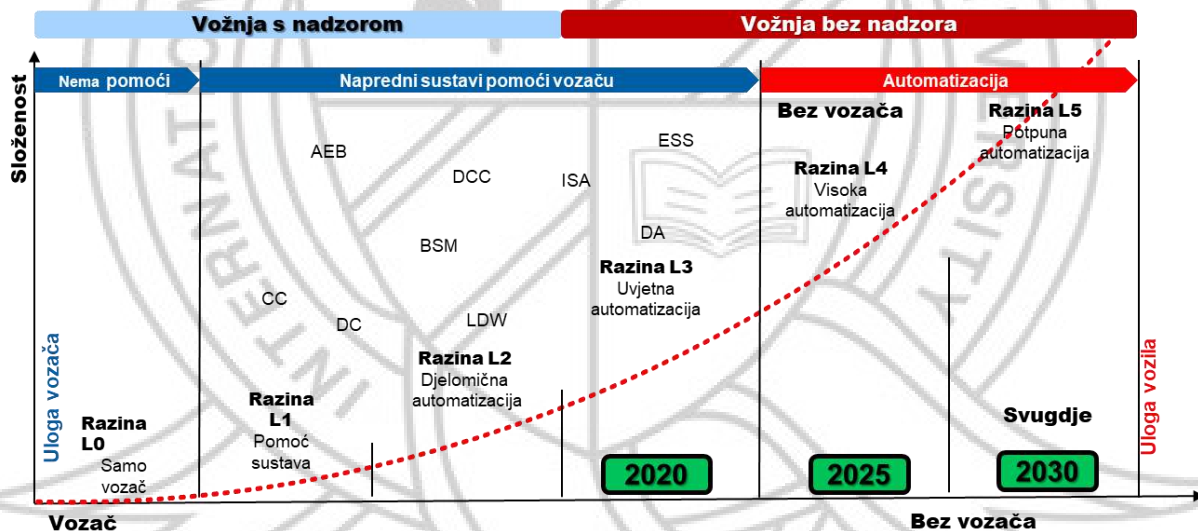
Slika 1. Razine automatizacije, Izvor: [2]

Vozila koja pomažu vozaču već su dostupna na tržištu EU-a (1., 2. i 3. razina), a automatizirana vozila koja mogu sama voziti u ograničenom broju situacija (3. i 4. razina) trenutačno se ispituju i neka od njih su dostupna na tržištu. Hardversku osnovu autonomne vožnje čine senzori i računalne jedinice. Autonomna vozila koriste različite vrste senzora, uključujući lidar, radar, ultrazvučne senzore i kamere. Svaki od ovih senzora ima specifičnu ulogu u detekciji okoline, prepreka i drugih sudionika u prometu.

Razvojem vozila bez vozača moguće je postići ključni cilj vezan za poboljšanje sigurnosti cestovnog prometa, jer je procjena da ljudska pogreška ima ulogu u 94% prometnih nesreća. Također, autonomna vozila omogućuju mobilnost starijim osobama i osobama s invaliditetom, unaprjeđuju i dopunjuju javni prijevoz u situacijama kada isti nije dostupan. Potiču dijeljenje automobila i prodaju usluge prijevoza, umjesto prodaje automobila. Ubrzavaju proces uvođenja električnih automobila i razvoj e-mobilnosti. Poseban doprinos moguć je u području urbane mobilnosti kroz izradu planova održive mobilnosti u gradovima.

Na slici 2. prikazan je tok razvoja procesa automatizacije vožnje od 2014. pa do danas. Tada je definirano šest razina vožnje, a 2021. prošireni su zahtjevi u kontekstu značajki sustava automatizacije vožnje, odnosno upravljanja motornim vozilom koje kontinuirano obavljaju dio ili cijeli zadatak dinamičke vožnje (Dynamic Driving Task - DDT).

Trend razvoja pokazuje postupni prijelaz prema višim razinama, uz eksponencijalni rast složenosti sustava. Ove definicije razina, zajedno s dodatnim pratećim pojmovima i definicijama mogu se koristiti za opisivanje cijelog raspona značajki automatizacije vožnje opremljenih vozilima na funkcionalno dosljedan i koherentan način.

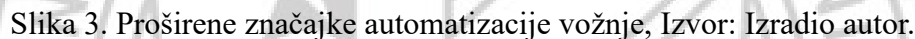


Slika 2. Razine automatizacije i uporaba naprednih sustava pomoći vozaču, Izvor: [1]

Na slici 3. prikazane su proširene značajke automatizacije vožnje u odnosu na aktivnosti koje vozač/čovjek treba činiti, koja je zadaća tih značajki i što one čine te primjeri tih značajki.

Pruža taksonomiju s detaljnim definicijama za šest razina automatizacije vožnje, od bez automatizacije vožnje (Razina 0) do potpune automatizacije vožnje (Razina 5), u kontekstu vozila i njihovog rada na cestama.

- Razina 0: Bez automatizacije vožnje – vozač upravlja vozilom bez pomoći sustava;
- Razina 1: Pomoć vozaču;



2. IZAZOVI AUTOMATIZIARNE VOŽNJE

2.1. TEHNOLOŠKI IZAZOVI

Suvremeni sustavi autonomne vožnje oslanjaju se na na umjetnu inteligenciju za duboko učenje i računalni vid.

Takvi modeli mogu postići visoku točnost u prepoznavanju objekata, ali često ostaju slabo interpretabilni. Problem crne kutije otežava certifikaciju, pravnu odgovornost i povjerenje javnosti. Dodatno, sustavi moraju biti robusni na rijetke rubne slučajeve poput vozila koja voze u suprotnom smjeru, neobičnih tereta na cesti ili pješaka koji se ponašaju nepredvidivo (Amodei et al., 2016; Badue et al., 2021).

Automatizirano vozilo ne smije samo detektirati objekte, nego mora predvidjeti njihovo kretanje i donijeti sigurnu odluku u realnom vremenu. Planiranje putanje i kontrola vozila posebno su složeni u gradskom prometu, gdje se odluke donose u interakciji s pješacima, biciklistima i drugim vozačima. Paden et al. (2016) ističu da je planiranje kretanja jedan od temeljnih izazova autonomnih vozila jer se sigurnost mora kombinirati s udobnošću i zakonitošću vožnje.

2.2. SIGURNOSNI IZAZOVI

Sigurnost automatizirane vožnje može se promatrati kroz funkcionalnu sigurnost, sigurnost namjeravane funkcije i kibernetičku sigurnost. Funkcionalna sigurnost odnosi se na sprječavanje kvarova hardvera i softvera, dok se sigurnost namjeravane funkcije odnosi na rizike koji nastaju kada sustav formalno radi ispravno, ali pogrešno interpretira okolinu. Koopman i Wagner (2017) naglašavaju da validacija autonomnih vozila zahtijeva interdisciplinarni pristup jer nije dovoljno dokazati da sustav radi u uobičajenim uvjetima; potrebno je dokazati ponašanje u milijunima varijacija prometnih scenarija. Jedan od najvećih izazova je pouzdano funkcioniranje u lošim vremenskim uvjetima poput kiše, snijega ili magle, gdje senzori mogu imati smanjenu učinkovitost. Obrada nepredvidivih situacija također je zahtjevnija, jer prometne situacije često uključuju nepredvidivo ponašanje ljudi, biciklista i drugih vozača, što otežava algoritmima donošenje ispravnih odluka.

Kibernetička sigurnost dodatno je važna jer su moderna vozila povezana s internetom, oblakom i infrastrukturom. Checkoway et al. (2011) pokazali su da vozila mogu imati brojne napadne površine, što znači da autonomni sustavi moraju biti zaštićeni od neovlaštenog pristupa, hakiranja, kibernetičkog napada, manipulacije podacima i potencijalnog preuzimanja kontrole. Zbog toga je testiranje autonomnih sustava izuzetno kompleksno zbog velikog broja mogućih scenarija, a povezana vozila mogu biti meta kibernetičkih napada (Sadaf et al., 2023).

2.3. PRAVNI I REGULATORNI IZAZOVI

Tradicionalno prometno pravo polazi od pretpostavke da je vozač fizička osoba koja kontrolira vozilo. Kod automatizirane vožnje odgovornost se dijeli između vozača, proizvođača vozila, dobavljača softvera, pružatelja karata i operatora usluge. Posebno je složeno pitanje odgovornosti kod SAE razine 3, gdje sustav može voziti samostalno, ali u određenim uvjetima traži da čovjek ponovno preuzme kontrolu.

Regulatorni pristupi razlikuju se među državama. Europski okvir općenito je oprezniji i naglašava homologaciju, sigurnosne slučajeve i ograničenu operativnu domenu, dok su SAD i Kina više usmjereni na pilot-projekte, testiranja i komercijalne robotaxi usluge u odabranim gradovima. California DMV zahtijeva godišnje izvještaje o disengagementima za proizvođače koji testiraju autonomna vozila, što je jedan od rijetkih javno dostupnih izvora usporednih operativnih podataka (California DMV, 2026). Ne postoji jedinstven globalni pravni okvir, a pitanje odgovornosti u slučaju prometne nesreće još uvijek nije jasno definirano (Lu et al., 2025). Postavlja se pitanje odgovornosti u slučaju nesreće, kao i etičke odluke koje vozilo mora donijeti u kritičnim situacijama.

2.4. ETIČKI IZAZOVI

Jedan od poznatih problema je moralna dilema u odlučivanju u neizbježnim prometnim nesrećama, što zahtijeva etičke smjernice u razvoju sustava (Broekman, 2025). Etički izazovi automatizirane vožnje često se pojednostavljaju kroz tzv. trolley problem, odnosno pitanje kako bi vozilo trebalo reagirati kada je nesreća neizbježna. Bonnefon, Shariff i Rahwan (2016) pokazuju da javnost načelno podržava utilitarne autonomne sustave koji minimiziraju ukupnu štetu, ali istodobno manje želi kupiti vozilo koje bi u ekstremnoj situaciji moglo žrtvovati vlastitog putnika. Ovaj paradoks pokazuje da etički dizajn autonomnih vozila nije samo tehnički problem, nego i pitanje društvenog povjerenja.

2.5. INFRASTRUKTURNA OGRANIČENJA

Brojne ceste i prometna infrastruktura nisu prilagođene za autonomna vozila, što usporava njihovu širu primjenu.

2.6. DRUŠTVENI I EKONOMSKI UTJECAJI

Društveno prihvaćanje autonomnih vozila ovisi o povjerenju korisnika, razumijevanju ograničenja sustava i transparentnoj komunikaciji rizika. Preveliko povjerenje može dovesti do nepažnje vozača kod sustava razine 2, dok premalo povjerenje može usporiti prihvaćanje korisnih tehnologija. Tržište rada također će biti pogođeno jer automatizacija može promijeniti ulogu profesionalnih vozača, logističkih operatora i servisnih djelatnosti (Fagnant & Kockelman, 2015).

3. STUDIJE SLUČAJA

U okviru studija slučaja obrađeni su pojedini slučajevi proizvođača autonomnih vozila i dani su usporedni pokazatelji proizvođača autonomnih vozila te kvantitativni ključni pokazatelji u području autonomne vožnje.

3.1. TESLA

Tesla je jedan od pionira u komercijalnoj primjeni naprednih sustava pomoći vozaču (ADAS). Razvija pristup koji se dominantno oslanja na kamere, neuronske mreže i prikupljanje podataka iz velike flote vozila. Prednost takvog pristupa je skalabilnost: vozila korisnika kontinuirano generiraju podatke iz stvarnog prometa. Nedostatak je činjenica da Tesla Autopilot i FSD Supervised ostaju sustavi koji zahtijevaju nadzor vozača. Teslina izvješća o sigurnosti navode milijune milja po jednoj nesreći kada je Autopilot/FSD uključen, ali ti se podaci moraju tumačiti oprezno jer uvjeti vožnje nisu nužno usporedivi s prosječnim vozačima (Tesla, 2025).

3.2. WAYMO

Waymo (Google) razvija potpuno autonomna vozila (SAE razina 4) s naglaskom na sigurnost i redundanciju. Koristi pristup visoke redundancije: Lidar, radar, kamere, precizne mape i geofenciranu operativnu domenu. Waymo robotaxi usluge rade bez vozača u odabranim gradovima i predstavljaju jedan od najzrelijih primjera SAE razine 4. Javna analiza Waymo rider-only podataka pokazala je 55% nižu stopu policijski prijavljenih sudara i 80% nižu stopu sudara s ozljedama u odnosu na usporedive podatke vozača (Kusano et al., 2024; Waymo, 2026).

3.3. CRUISE, MERCEDES-BENZ, BMW I BAIDU APOLLO

Cruise je razvio robotaxi model sličan Waymu, ali je suočen s regulatornim i reputacijskim problemima nakon sigurnosnih incidenata.

Mercedes-Benz zauzima oprezniji put kroz certificirani Level 3 sustav DRIVE PILOT, koji radi u ograničenim uvjetima na autocestama; njemačko odobrenje za rad do 95 km/h dodatno pokazuje evoluciju regulirane uvjetne automatizacije (Mercedes-Benz Group, 2024). BMW razvija napredne ADAS sustave i postupnu automatizaciju, dok Baidu Apollo pokazuje snažan razvoj robotaxi usluga u Kini, gdje je dostupna kombinacija tehnološke infrastrukture, velikih urbanih područja i regulatorne potpore. U tablici 1. prikazani su podaci proizvođača autonomnih vozila iz kojih se može zaključiti da ne slijede isti razvojni put. Tako primjerice, Tesla naglašava skaliranje i podatke iz korisničke flote, Waymo i Baidu razvijaju geofencirane robotaxi sustave razine 4, Mercedes-Benz regulatorno certificira ograničenu razinu 3, dok BMW postupno proširuje ADAS funkcionalnosti.

Na temelju dostupnih izvještaja (NHTSA, Waymo safety reports), može se uočiti trend smanjenja broja prometnih nesreća autonomnih vozila s povećanjem razine automatizacije. Procijenjena stopa prometnih nesreća (na milijun km) pri razini automatizacije: 0 (vozač), stopa prometnih nesreća je 4,2; 2 (ADAS), stopa prometnih nesreća je 3,5; 3, stopa prometnih nesreća je 2,5; 4 (Waymo testovi), stopa prometnih nesreća je 1,0.

Tablica 1. Usporedni podaci proizvođača autonomnih vozila, Izvor : Izradio autor.

Proizvođač	SAE razina	Tehnološki pristup	Senzori	Poslovni model	Prednosti	Nedostaci
Tesla	2 / FSD Supervised	Vision-based AI	Kamere	Prodaja vozila + softver	Skalabilnost, velika flota	Trajni nadzor vozača, regulatorne dvojbe
Waymo	4	Sensor fusion + HD mape	LiDAR, radar, kamere	Robotaxi	Visoka redundancija, javni sigurnosni podaci	Geofenciranje, visoki troškovi
Cruise	4	Sensor fusion	LiDAR, radar, kamere	Robotaxi	Urbano iskustvo testiranja	Regulatorne obustave i reputacijski rizik
Mercedes-Benz	3	Regulirana uvjetna automatizacija	LiDAR, radar, kamere	Premium vozila	Homologacija i pravna jasnoća	Ograničena brzina i uvjeti
BMW	2-3	Postupni ADAS pristup	Kamere, radar	Premium ADAS paketi	Integracija u postojeće modele	Manje ambiciozna Level 4 primjena
Baidu Apollo	4	AI + infrastruktura	LiDAR, kamere, radar	Robotaxi u Kini	Brza urbana implementacija	Ograničena globalna dostupnost

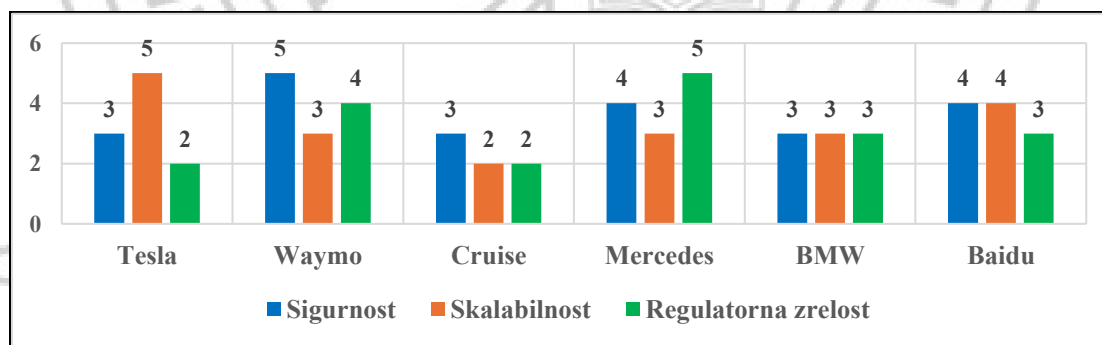
3.4. KLJUČNI KVANTITATIVNI POKAZATELJI

Ključni kvalitativni pokazatelji u području autonomne vožnje nisu uvijek izravno usporedivi. Tesla prijavljuje broj milja po nesreći u floti korisnika, Waymo objavljuje usporedne stope sudara po milijun milja za rider-only vožnju, dok California DMV prati performanse testnih vozila. Zbog različitih metodologija, u tablici 2. prikazano je strukturirano mjerenja performansi, a ne apsolutna rang-lista.

Tablica 2. Prikaz ključnih pokazatelja mjerenja performansi. Izvor: Izradio autor.

Proizvođač	Primarni KPI	Vrijednost / nalaz	ODD ograničenje	Transparentnost podataka	Zrelost (1-5)
Tesla	Milje nesreći po nesreći s Autopilot/FSD prema kvartalnim izvješćima	oko 6-7+ mil. milja po nesreći s Autopilot/FSD prema kvartalnim izvješćima	sustav zahtijeva nadzor vozača	srednja; agregirani podaci proizvođača	4
Waymo	IPMM sudara	2.1 IPMM policijski prijavljenih; 0.6 IPMM ozljednih sudara	geofencirani gradovi	visoka; safety data hub i publikacije	5
Cruise	Testne milje i incidenti	milijuni testnih km, ali prekidi nakon incidenata	urbane zone	srednja	3
Mercedes-Benz	Certificirana Level 3 funkcija	DRIVE PILOT odobren do 95 km/h u Njemačkoj	autoceste i uvjeti propisani ODD-om	visoka za homologaciju	4
BMW	ADAS funkcionalnosti	ograničeni javni KPI za autonomne km	premium vozila, ograničeni uvjeti	niska do srednja	3
Baidu Apollo	Robotaxi implementacija	milijuni km u kineskim gradovima	odabrani gradovi i zone	srednja	4

Slika 4. prikazuje sintetske performanse proizvođača autonomnih vozila prema tri dimenzije: sigurnost/validacija, skalabilnost, odnosno sposobnost sustava da podnese povećano radno opterećenje dodavanjem resursa, održavajući pritom performanse i regulatorna zrelost. Ocjene su izvedene iz dostupnih javnih podataka, statusa komercijalne primjene i razine regulatorne jasnoće. Graf nije zamjena za homologacijsko ispitivanje, nego analitički alat za usporedbu razvojnih strategija.



Slika 4. Usporedna mjerenja performansi proizvođača autonomnih vozila prema sigurnosti, skalabilnosti i regulatornoj zrelosti

3.5. RASPRAVA

Najrealniji pristup ne može se odrediti samo prema tehnološkoj ambiciji, nego prema kombinaciji sigurnosti, troškova, regulatorne prihvatljivosti i mogućnosti skaliranja. Za Europu je najrealniji postupni i regulatorno kontrolirani razvoj, bliži Mercedes-Benz pristupu za privatna vozila i Waymo/Baidu pristupu za ograničene robotaxi zone, nego univerzalna autonomija bez jasne operativne domene.

Tesla ima najjaču prednost u skalabilnosti jer koristi postojeću flotu i softverska ažuriranja. Međutim, europski regulatorni okvir teže prihvaća sustave koji se marketinški predstavljaju kao vrlo sposobni, a pravno i operativno i dalje zahtijevaju stalni nadzor vozača. Zbog toga je Teslin pristup realan za brzu komercijalnu penetraciju ADAS funkcija, ali manje realan kao kratkoročni put prema potpuno autonomnoj vožnji u Europi. Waymo pristup ima najveću sigurnosnu i tehničku zrelost za SAE razinu 4, ali njegova slabost su troškovi, potreba za geofenciranjem i dug proces mapiranja i validacije svake operativne domene. Taj je pristup realan za robotaxi usluge u precizno definiranim gradskim zonama, posebno tamo gdje postoji javni interes za smanjenje prometnih gužvi i dostupnost mobilnosti bez osobnog automobila. Mercedes-Benz pristup najviše odgovara europskoj regulatornoj kulturi jer se temelji na homologaciji, jasnim ograničenjima i pravno definiranoj odgovornosti. Iako je tehnološki manje spektakularan od Razine 4 robotaxi sustava, njegova prednost je društvena i pravna prihvatljivost. Za europske autoceste i premijum segment vozila, certificirana Razina 3 automatizacija predstavlja najrealniji kratkoročni put. Zaključno, najrealniji model za Europu je hibridan: (1) certificirana Razina 3 automatizacija na autocestama za privatna vozila, (2) Razine 4 robotaxi usluge unutar geografskog ograničenja područja u urbanim zonama, i (3) postupno širenje ODD-a tek nakon dokazive sigurnosti. Takav pristup smanjuje rizik, povećava javno povjerenje i usklađen je s europskom praksom oprezne regulacije. Autonomna vozila mogu raditi i bez potpuno pametne infrastrukture, ali njihova učinkovitost raste ako se povežu s digitaliziranom signalizacijom, kvalitetnim prometnim podacima i V2X komunikacijom. Pametna infrastruktura posebno je važna za upravljanje kriznim situacijama, radovima na cesti, vremenskim ograničenjima i prioritetima javnog prijevoza.

ZAKLJUČAK

Autonomna vožnja ima potencijal značajno unaprijediti sigurnost i učinkovitost prometa, ali brojni tehnički, sigurnosni i pravni izazovi još uvijek moraju biti riješeni prije potpune implementacije. Međutim, automatizacija vožnje osim velikog potencijala ima i brojne izazove koji uključuju tehničke, pravne, sigurnosne i etičke aspekte. Daljnji razvoj i regulacija ključni su za sigurnu implementaciju ove tehnologije. Automatizirana vožnja ima velik potencijal za poboljšanje sigurnosti i učinkovitosti prometnog sustava, ali njezina implementacija zahtijeva oprezan i interdisciplinarn pristup. Tehnološki napredak mora biti praćen dokazivom sigurnošću, transparentnim ključnim pokazateljima, jasnim pravnim okvirom i društvenim prihvaćanjem. Usporedba proizvođača pokazuje da ne postoji jedan univerzalan put. Tesla pokazuje snagu skaliranja, Waymo sigurnosnu zrelost Razine 4 sustava, Mercedes regulatorno prihvatljivu Razinu 3 strategiju, dok Baidu ilustrira potencijal brze implementacije u sustavima s jakim institucionalnom potporom. Za Europu je najrealniji postupni hibridni model: ograničena i certificirana automatizacija za privatna vozila te unutar definiranog geografskog područja Razine 4 usluge u odabranim urbanim područjima. Buduća istraživanja mogu biti usmjerena na razvoj standardiziranih scenarija testiranja i sigurnosnih slučajeva, na poboljšanje interpretabilnosti AI modela i odgovornosti algoritama, na robustnost sustava u lošim vremenskim uvjetima i rijetkim prometnim situacijama, na usklađivanje regulatornih okvira između država, na mjerenje stvarnog sigurnosnog učinka u usporedivim uvjetima te na razvoj etičkih i društveno prihvatljivih principa odlučivanja.

LITERATURA

- [1] Alispahić, S. (2025.). Autorizirana predavanja. Sigurnost u saobraćaju. Internacionalni Univerzitet Travnik u Travniku, Saobraćajni fakultet Travnik u Travniku.
- [2] SAE (2014.). Udruženje inženjera automobilske industrije.
- [3] EK (2018). Na putu prema automatiziranoj mobilnosti: strategija EU-a za mobilnost budućnosti. COM(2018) 283 final, Bruxelles.
- [4] EK (2020.). Strategija za održivu i pametnu mobilnost, usmjeravanje europskog prometa prema budućnosti. COM (2020) 789 final, Bruxelles.
- [5] [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104).
- [6] Broekman, N. (2025). Toward safe and scalable autonomy: A comprehensive review.
- [7] Lu, D., et al. (2025). Risk assessment in autonomous driving: A comprehensive survey.
- [8] Padmaja, B., et al. (2023). Exploration of issues in autonomous cars.
- [9] Parekh, D., et al. (2022). A review on autonomous vehicles. Electronics.
- [10] Raheman, F., et al. (2024). SAE levels of driving automation.
- [11] Sadaf, M., et al. (2023). Connected and automated vehicles security.
- [12] Amodei, D., Olah, C., Steinhardt, J., Christiano, P., Schulman, J., & Mane, D. (2016). Concrete problems in AI safety. arXiv preprint arXiv:1606.06565.
- [13] Badue, C., Guidolini, R., Carneiro, R. V., Azevedo, P., Cardoso, V. B., Forechi, A., ... & Oliveira-Santos, T. (2021). Self-driving cars: A survey. Expert Systems with Applications, 165, 113816.
- [14] Bonnefon, J. F., Shariff, A., & Rahwan, I. (2016). The social dilemma of autonomous vehicles. Science, 352(6293), 1573-1576.
- [15] California Department of Motor Vehicles. (2026). Disengagement reports. California DMV.
- [16] Checkoway, S., McCoy, D., Kantor, B., Anderson, D., Shacham, H., Savage, S., ... & Kohno, T. (2011).
- [17] Comprehensive experimental analyses of automotive attack surfaces. USENIX Security Symposium.
- [18] Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 77, 167-181.
- [19] Koopman, P., & Wagner, M. (2016). Challenges in autonomous vehicle testing and validation. SAE International.
- [20] Koopman, P., & Wagner, M. (2017). Autonomous vehicle safety: An interdisciplinary challenge. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 9(1), 90-96.
- [21] Kusano, K. D., Scanlon, J. M., Chen, R., McMurry, T. L., & Victor, T. (2024). Comparison of Waymo rider-only crash data to human benchmarks at 7.1 million miles. Traffic Injury Prevention.
- [22] Mercedes-Benz Group. (2024). Mercedes-Benz increases top speed of its Level 3 automated driving system to 95 km/h.
- [23] Mordor Intelligence. (2025). Autonomous vehicle market size, share & 2030 growth trends report.
- [24] Paden, B., Cap, M., Yong, S. Z., Yershov, D., & Frazzoli, E. (2016). A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 1(1), 33-55.
- [25] SAE International. (2021). Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles (SAE J3016).
- [26] Schoettle, B., & Sivak, M. (2014). Public opinion about self-driving vehicles in China, India, Japan, the U.S., the U.K., and Australia. University of Michigan Transportation Research Institute.
- [27] Tesla. (2025). Vehicle safety report.
- Waymo. (2026). Safety impact data hub.