

Utjecaj autonomnih vozila na logistiku i transport

Pongrac, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:211:275871>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
VARAŽDIN**

Ivona Pongrac

**UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA
LOGISTIKU I TRANSPORT**

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Ivona Pongrac

Matični broj: 0016141899

Studij: Ekonomika poduzetništva

UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA LOGISTIKU I TRANSPORT
THE INFLUENCE OF AUTONOMOUS VEHICLES ON LOGISTICS
AND TRANSPORT

DIPLOMSKI RAD

Mentor/Mentorica:

Izv. prof. dr. sc. Zrinka Lacković Vincek

Varaždin, rujan 2024.

Ivona Pongrac

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je moj završni/diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada. Za bilo kakve netočnosti u činjenicama ili rasuđivanju preuzimam punu odgovornost.

Autor/Autorica potvrdio/potvrdila prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi

Sažetak

S vremenom, autonomna vozila polako osnažuju svoj utjecaj i primjenu u današnjem svijetu korištenja vozila, kako u komercijalne svrhe, tako i u poslovne. Tako se u ovom radu istražuje utjecaj autonomnih vozila na logističke operacije i međunarodni transport na primjerima poduzeća. U teorijskom dijelu rada definirana su autonomna vozila, njihov povijesni razvoj te se ukazuje na današnje statističke pokazatelje za autonomna vozila. Nadalje, navode se ključne tehnologije u radu autonomnih vozila, koje prednosti i nedostatke donose, kao i izazovi sa kojima se susreću. Ujedno se navodi i njihova prilagodba promjenama u regulaciji i tehnologijama, kao i njihov utjecaj na sigurnost cestovnog prometa, ekonomiju i okoliš. Za potrebe pisanja ovog rada koristi se metoda istraživanja prikupljanjem sekundarnih podataka.

Ključne riječi: logistika, transport, autonomna vozila

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Predmet i cilj rada	1
1.2. Metodologija istraživanja	1
1.3. Struktura rada	2
2. Povijesni razvoj autonomnih vozila	3
2.1. Definiranje autonomnih vozila	5
2.2. Današnji statistički pokazatelji za autonomna vozila.....	6
3. Autonomna vozila	8
3.1. Tehnološki aspekt autonomnih vozila.....	8
3.2. Prednosti i nedostaci autonomnih vozila	13
3.3. Izazovi pri implementaciji autonomnih vozila	15
3.3.1. Sigurnosni aspekti i tehnološka ograničenja.....	16
3.3.2. Regulatorni okvir i javna percepcija	16
3.3.3. Kibernetička sigurnost.....	17
3.3.4. Utjecaj na radnu snagu, infrastrukturu i etička pitanja.....	17
3.3.5. Privatnost podataka i dugoročno održavanje.....	18
3.4. Prilagodba autonomnih vozila promjenama u regulaciji i tehnologijama	19
3.4.1. Tijela za regulatorni okvir autonomnih vozila	19
3.4.2. Regulacije Europske unije povezane s autonomnom vožnjom	21
3.4.3. Regulacije Sjedinjenih Američkih Država za autonomna vozila	25
3.5. Utjecaj autonomnih vozila na sigurnost cestovnog prometa, ekonomiju i okoliš	28
4. Analiza utjecaja autonomnih vozila na logistiku i transport.....	31
4.1. Primjeri primjene autonomnih vozila u sektoru logistike i transporta.....	31
4.1.1. Primjena autonomnih kamiona	32
4.1.2. Primjena autonomnih vozila u skladištima	34
4.1.3. Primjena autonomnih vozila u lukama – kontejnerski terminal.....	37
4.1.4. Primjena autonomnih vozila u željezničkom prometu	39
4.2. Budućnost autonomnih vozila u logistici i transportu	40
5. Zaključak	43
Popis literature	44
Popis slika.....	56
Popis tablica.....	57

1. Uvod

U današnjem svijetu poznato je kako je tehnologija vrlo razvijena i aktualna te da se sve više ljudi okreće tehnologiji, koja uvelike čini život lakšim. Samim time, autonomna vozila predstavljaju jedan od najvažnijih i najznačajnijih tehnoloških napredaka u automobilskoj industriji, a ponajviše ostavljaju utjecaj na sektor logistike i transporta. U pogledu tih sektora, imaju potencijal preobraziti način na koji se odvijaju poslovi i operacije unutar istih, ciljajući da ih učine više efikasnijima i sigurnijima. Sama motivacija za obradu teme utjecaja autonomnih vozila na logistiku i transport proizlazi iz potrebe za znanjem i boljim razumijevanjem kako njihova tehnologija doprinosi poslovnom okruženju, jer se svijet nalazi na pragu široke prisutnosti takvih vozila u svakodnevici.

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet ovog rada je istraživanje utjecaja koji autonomna vozila imaju na sektor logistike i transporta. Uvid u tehnologiju autonomnih vozila pruža bolje razumijevanje samog funkcioniranja koja transformira poslovanje poduzeća i podiže poslovne procese na novu razinu u području odabranih sektora. Uz pregled teorije i istraživačkog dijela koji ukazuju na utjecaj autonomnih vozila, cilj rada je uvidjeti prednosti i nedostatke, koji izazovi se javljaju prilikom implementacije i kako se prilagođavaju promjenama u regulaciji i tehnologijama. Uz to, opisuje se kakav utjecaj imaju na najviše značajan i važan faktor – sigurnost u cestovnom prometu te utjecaj na ekonomiju i okoliš. S pomoću danih primjera poduzeća u logistici i transportu, daje se bolji uvid u stanje i utjecaj koji autonomna vozila imaju, no kroz samo istraživanje sekundarnih podataka, nastoji se zapravo pružiti sveobuhvatan pregled aktualnog stanja autonomnih vozila te kakvu budućnost nose autonomna vozila u odabranim sektorima.

1.2. Metodologija istraživanja

Tijekom pisanja ovog rada, znanstvene metode koje se koriste su metoda deskripcije – opisuje se povijesni razvoj autonomnih vozila, definira se pojam autonomnih vozila i tehnološki aspekt istih (klasifikacija sistematizacije) te trenutno stanje, što omogućuje osnovno razumijevanje autonomnih vozila. Kako su autonomna vozila nadogradnja običnih vozila, u radu se koristi metoda usporedbe istih kojom se ukazuje na prednosti i nedostatke autonomnih vozila. U istraživačkom dijelu rada koristi se metoda studije slučaja za odabrane primjere poduzeća u sektoru logistike i transporta, koja su u svoje poslovanje implementirala autonomna vozila. Za potrebe pisanja ovog rada, korišteni su sekundarni podaci koji su

prikupljeni iz raznih izvora. Za teorijski dio rada to uključuje internet izvore, odnosno relevantne *web*-stranice, vijesti, kao i javne publikacije s Google Scholar i ScienceDirect. Za današnje statističke pokazatelje autonomnih vozila korištena su izvješća statističkih stranica Statista i Europske komisije, podaci s poslovne stranice LinkedIn, kao i članci objavljeni od strane poslovnih osoba u industriji. Zatim, sa stranice Europske komisije i *Connected Automated Driving* (platforma za projekt Europske Unije FAME (engl. *Framework for the Mobility of the Future*) preuzete su regulacije postavljene u okviru za autonomna vozila. U istraživačkom dijelu rada, podaci su preuzeti sa službenih stranica poduzeća koja su uzeta kao primjer primjene autonomnih vozila u poslovanju, ali i sa određenih stranica koja su sadržavala izvješća o istima. Od metoda analize, u radu je korištena kvantitativna analiza koja upućuje na brojčane podatke prikupljenih iz izvještaja o primjeni autonomnih vozila u odabranim poduzećima. Taj dio upućuje na bolji pregled utjecaja i na stvarno stanje autonomnih vozila u logistici i transportu. U radu je korištena i deskriptivna analiza kojom se analizira i opisuje kako autonomna vozila utječu na područje logistike i transporta odabranih poduzeća.

1.3. Struktura rada

Struktura diplomskog rada je sljedeća. U prvom poglavlju se uvodi u temu rada autonomnih vozila, iznosi se predmet i cilj rada, metodologija istraživanja te se na kraju prikazuje sama struktura rada. U drugom poglavlju se definira pojam autonomnih vozila, opisuje se njihov povijesni razvoj i prikazuju se aktualni statistički pokazatelji za autonomna vozila. U trećem poglavlju se navode tehnološki aspekti autonomnih vozila, prednosti i nedostaci istih te se nabrajaju izazovi koji se javljaju pri implementaciji autonomnih vozila. U nastavku rada se opisuje prilagodba autonomnih vozila promjenama u regulaciji i tehnologijama i njihov utjecaj na sigurnost cestovnog prometa, ekonomiju i okoliš. U četvrtom poglavlju su istraživački prikazani primjeri primjene utjecaja autonomnih vozila u logistici i transportu u odabranim poduzećima te se na kraju opisuje budućnost kakvu vozila ocrtavaju za te sektore. U zadnjem poglavlju rada iznesen je zaključak koji ukratko opisuje glavne rezultate rada.

2. Povijesni razvoj autonomnih vozila

Koncept autonomnog vozila (engl. *Autonomous vehicles* – AV) datira puno prije pojave samog automobila – do 16. stoljeća. Godine 1500. Leonardo da Vinci dizajnirao je mala samohodna kolica s tri kotača koja se smatraju ne samo prvim samovozećim vozilom, već i prvim robotom bilo koje vrste (Mobileye, 2023) te su se mogla kretati bez guranja ili povlačenja. Vozilo je uključivalo niz opruga za pogon koje su pod velikim naponom davale snagu (Tomorrow's world today, 2021), unaprijed programabilni sustav upravljanja i parkirnu kočnicu koja se daljinski otpušta uže tom. Godine 1925. inženjer elektrotehnike Francis P. Houdina (Mobileye, 2023) demonstrirao je radio-upravljeni automobil ulicama Manhattana bez ikoga za upravljačem. Radio je mogao pokrenuti motor, mijenjati brzine i oglasiti se sirenom. Ovaj automobil nudio je pogled u budućnost autonomije, ali je projekt brzo ugašen kada je operater dva puta izgubio kontrolu tijekom vožnje i zabio se u drugo vozilo. Unatoč ovoj ranoj nesreći, industrija nije izgubila nadu u automobile na daljinsko upravljanje (Tomorrow's world today, 2021). Kako su se automobili umnožavali desetljećima koja su uslijedila, tako su rasli i naponi da se njihov rad automatizira (Mobileye, 2023). Na Svjetskom sajmu u New Yorku 1939. godine, General Motors je dizajnirao prvi model samovozećeg automobila. Bilo je to električno vozilo vođeno radio-kontroliranim elektromagnetskim poljima i pokretano magnetiziranim metalnim šiljcima ugrađenim u kolnik. Ovaj model postao je stvarnost 1958. godine. Automobil je sadržavao senzore koji su mogli detektirati struju koja teče kroz žicu ugrađenu u cestu. Strujom se može manipulirati da pomakne volan ulijevo ili udesno (Tomorrow's world today, 2021). Drugi su također eksperimentirali s magnetskim navođenjem, ali se nadogradnja infrastrukture pokazala preskupom i restriktivnom da bi se predstavilo održivo i skalabilno rješenje za autonomnu mobilnost (Mobileye, 2023). Godine 1961. istraživači sa Sveučilišta Stanford počeli su razmišljati o tome kako spustiti vozila na Mjesec. Kao rezultat toga, James Adams stvorio je Stanford Cart, opremljen kamerama i programiran za autonomno otkrivanje i praćenje linije na tlu. Ovo je bila prva upotreba kamera u autonomnim vozilima — vitalnom elementu današnjih autonomnih vozila (Tomorrow's world today, 2021). Inženjeri strojarstva na Sveučilištu Tsukuba u Japanu su 1977. godine unaprijedili ovu ideju (Mobileye, 2023) sustavom kamera koje su podatke prenosile na računalo za obradu slika ceste. To je dovelo do testiranja prvog na svijetu autonomnog putničkog vozila koje je moglo postići brzinu do otprilike 32 kilometara na sat (Tomorrow's world today, 2021). Međutim, novija povijest autonomnih vozila datira iz 1980-ih godina kada su tvrtke poput Mercedes-Benza i raznih sveučilišta, ponekad financirane od strane Agencije za napredne obrambene istraživačke projekte (engl. *Defense Advanced Research Projects Agency* – DARPA), počele eksperimentirati s računalnom tehnologijom za pomoć autonomnom prijevozu (Robare, 2023).

Preko DARPA, Ministarstvo obrane SAD-a počelo je podupirati istraživanje autonomnih vozila. Njegov prvi veliki pothvat u okviru samoupravljanja bio je financiranje projekta ALV (engl. *Autonomous Land Vehicle*), koji je koristio rani oblik lidara za navigaciju van cesta. DARPA je također podržala Navigacijski laboratorij Sveučilišta Carnegie Mellon (ili „Navlab“), koji je proizveo niz eksperimentalnih autonomnih vozila. Godine 1986. „Navlab 1“ – kombi pune veličine s računalima, senzorima i sustavima za hlađenje – sam se (polako) vozio po prigradskim četvrtima (Mobileye, 2023). Do 1990. godine Sveučilište Carnegie Mellon počelo je graditi samovozeće automobile, integrirajući neuronske mreže u obradu slike i kontrole upravljanja (Tomorrow's world today, 2021). Istraživači Carnegie Mellona krenuli su 1995. godine sa svojim samovozećim automobilom, nazvanim NavLab 5, na cestu, putujući 2.797 milja (~4.502 kilometara) od Pittsburgha do San Diega (Center for Sustainable Systems, 2023). Istraživači u vozilu upravljali su gasom i kočnicom, dok je vozilo samo upravljalo više od 98 % puta dugog 2.850 milja (~4.600 kilometara) (Mobileye, 2023). Do ranih 2000-tih godina, industrija autonomnih automobila bila je u punom zamahu (Center for Sustainable Systems, 2023). Vrata su se stvarno otvorila s DARPA Grand Challengeom – nizom natjecanja u kojima su Stanford i Carnegie Mellon (između ostalih) borili za vodstvo autonomnih vozila (Mobileye, 2023). DARPA je održala velike izazove testirajući performanse autonomnih vozila na pustinjskoj stazi dugoj 150 milja (~242 kilometara) (Center for Sustainable Systems, 2023). Niti jedan od natjecatelja nije završio prvo pustinjsko natjecanje 2004. godine, ali pet ih je uspjelo sljedeće godine – predvođeni Volkswagenom Touaregom iz Stanforda (koristeći Intel procesore). Dvije godine kasnije, godine 2007., Carnegie Mellon pobijedio je u urbanom natjecanju s posebno opremljenim Humveejem (Mobileye, 2023). Tada je šest timova završilo treći DARPA izazov koji se sastojao od staze od 60 milja (~100 kilometara) navigirajući urbanim okruženjem poštujući normalne prometne zakone (Center for Sustainable Systems, 2023). DARPA-ina natjecanja dokazala su da autonomna tehnologija može funkcionirati. Navedena je prekretnica zauzvrat potaknula niz *startup*-ova, tehnoloških tvrtki i proizvođača automobila da pokrenu vlastite razvojne programe autonomnih vozila tijekom više od sljedećih deset godina – neki od njih zapošljavaju bivše natjecatelje Grand Challengea (Mobileye, 2023). Centar za transformaciju mobilnosti Sveučilišta u Michiganu je 2015. godine izgradilo Mcity, prvo postrojenje za testiranje autonomnih vozila. Ford je postao prvi proizvođač automobila koji je ondje testirao autonomna vozila, i to u najtežim zamislivim uvjetima okoliša (Wired, bez dat.). Tamo se zapravo provode istraživanja o sigurnosti, učinkovitosti, pristupačnosti i komercijalnoj održivosti autonomnih vozila (Center for Sustainable Systems, 2023).

2.1. Definiranje autonomnih vozila

Autonomna vozila, koja se obično nazivaju samovozećim vozilima ili vozilima bez vozača (Copperdigital, bez dat.), su vozila koja imaju sposobnost upravljati samostalno i obavljati potrebne funkcije kroz sposobnost svjesnosti svoje okoline. Koristi potpuno automatizirani sustav vožnje koji omogućuje vozilu da odgovori na vanjske uvjete s kojima bi susreo sam vozač (TWI, bez dat.). Obrađuju podatke koje prikupljaju njihovi senzori za uspostavljanje navigacijskih ruta i donošenje odluka u stvarnom vremenu, poput zaustavljanja, ubrzavanja, usporavanja i izbjegavanja prepreka. Povećavaju sigurnost provođenjem zaštitnih mjera, upozoravanjem vozača i preuzimanjem pune kontrole nad vozilom kada je to potrebno. Osim toga, vozila autonomno prepoznaju i reagiraju na druga vozila, bicikliste, pješake, gradilišta, kvarove na cesti, nesreće i prometne gužve. Nadalje, podržavaju sigurnosne protokole koje bi ljudski vozači mogli namjerno ili nenamjerno zanemariti. Širenje tržišta potiču različiti čimbenici, uključujući razvoj međusobno povezane infrastrukture omogućen tehnološkim napretkom, smanjenjem prometnih gužvi u kombinaciji s poboljšanim sigurnosnim mjerama te porastom trenda ulaganja i suradnje među tvrtkama koje djeluju u sektoru autonomnih vozila (Allied Market Research, 2023). Za detektiranje prometa i cesta, ova vozila koriste softver umjetne inteligencije (engl. *Artificial Intelligence* – AI), detekciju svjetla i određivanje dometa (engl. *Light Detection and Ranging* – LiDAR), radio detekciju i određivanje dometa (engl. *Radio Detection And Ranging* – RADAR) i kamere (Nextmsc, 2023). Umjetna inteligencija, strojno učenje (engl. *machine learning* – ML), internet stvari (engl. *Internet of Things* – IoT) i napredak u senzorskoj tehnologiji ključni su trendovi koji pokreću razvoj sofisticiranijih autonomnih vozila (Mordor Intelligence, 2024). Ova tehnička poboljšanja ne samo da proširuju raspon autonomnih primjena u različitim industrijama, od usluga dijeljenja vožnje i dostave do logistike i transporta, već također poboljšavaju sigurnost i pouzdanost vozila (Sena, 2024). U usporedbi s konvencionalnim vozilima, ova su vozila učinkovitija i sigurnija (Nextmsc, 2023). Vodeći subjekti koji djeluju na tržištu autonomnih vozila su General Motors, Mercedes-Benz AG (Daimler AG), Ford Motor Company, Volkswagen Group, Bayerische Motoren Werke (BMW AG), Renault Group SA, AB Volvo, Toyota Motor Corporation, Tesla, Inc., Hyundai Motor Company. Druge tvrtke navedene u skladu s dobavljačima automobila su Robert Bosch GMBH, Aptiv, Continental AG, Denso Corporation. Također, po dobavljačima tehnologije popis uključuje Waymo, NVIDIA Corporation, Intel Corporation, Baidu i Samsung. Tvrtke koje temelje autonomna vozila kao pružatelje usluga su Uber, Lyft i Didi Chuxing (Allied Market Research, 2023). Državno financiranje i regulatorni okviri također su neki od glavnih čimbenika koji pokreću rast tržišta autonomnih vozila. Vlade diljem svijeta intenzivno ulažu u bespovratna sredstva za istraživanje i razvoj autonomnih vozila, što koristi akademskim institucijama, komercijalnim tvrtkama i industrijskim grupama.

Vlade uspostavljaju zone testiranja i pilot programe u kojima korporacije mogu instalirati autonomna vozila u reguliranim okruženjima i prikupljati vitalne podatke. To omogućuje procjenu sigurnosti, izvedbe i prihvaćanja tehnologije u stvarnom svijetu (Global Market Insights, 2024). Autonomna vozila smatraju se revolucionarnom tehnologijom u automobilskoj industriji nakon uvođenja električnih vozila i hibridnih vozila. Sve veći broj nesreća zbog ljudske pogreške izazvao je potrebu za prodorom autonomne tehnologije u automobilski sektor (Precedence Research, 2024).

2.2. Današnji statistički pokazatelji za autonomna vozila

Tržište autonomnih vozila svjedoči nevjerojatnom rastu, potaknutom tehnološkim napretkom i porastom potražnje za sigurnijim i učinkovitijim prijevozom (Mordor Intelligence, 2024). Prema izvješću Statista (2024), veličina globalnog tržišta autonomnih vozila vrijedila je oko 33,5 milijarde dolara u 2023. godini. Prema izvješću Allied Market Research (2023) procijenjena je na 60,3 milijarde dolara u 2025. godini, a predviđa se da će dosegnuti 448,6 milijardi dolara do 2035. godine, rastući sa složenom godišnjom stopom rasta (engl. *Compound Annual Growth Rate* – CAGR) od 22,2 % od 2025. do 2035. godine (Allied Market Research, 2023). Ovakav rast tržišta pripisuje se nekim čimbenicima, kao što su razvoj međusobno povezane infrastrukture s napretkom tehnologije, smanjenje prometnih gužvi i poboljšanje sigurnosnih mjera (The Brainy Insights, 2023). Trenutna veličina globalnog tržišta autonomnih vozila procjenjuje se na 41,1 milijarde dolara s najbržim rastućim tržištem u području Azija-Pacifik i s najvećim tržištem u Sjevernoj Americi (Mordor Intelligence, 2024). Regija Azije i Pacifika pokazuje najbržu stopu rasta, jer postoji sve veća potražnja za učinkovitim, sigurnim i praktičnim iskustvom vožnje. Također, raspoloživi dohodak ljudi raste u gospodarstvima u nastajanju poput Indije i Kine. Usto, razvija se partnerstvo s pružateljima tehnologije autonomnih vozila u regiji (The Brainy Insights, 2023). U 2019. godini je u svijetu bilo oko 31 milijun automobila s barem nekom razinom automatizacije i očekuje se da će njihov broj premašiti 54 milijuna 2024. godine (Placek, 2023). Broj vozila na cestama u svijetu koja su spremna za autonomnu vožnju značajno je porastao između 2020. i 2023. godine, s predviđenim povećanjem od oko 638.600 samo u 2022. godini (Carlier, 2021). Očekuje se da će napredni sustav pomoći vozaču (engl. *Advanced driver-assistance system* – ADAS) i tržište autonomne vožnje dosegnuti prag od 55 do 80 milijardi dolara do 2030. godine, kako predviđa izvješće McKinsey (2023). Kako navodi izvješće Global Market Insights (2024), Volkswagen AG i Toyota Motor Corporation dominiraju industrijom autonomnih vozila s više od 15 % tržišnog udjela. Volkswagen AG posvećuje znatna sredstva naporima u istraživanju i razvoju, prvenstveno usmjerenim na unapređenje tehnologije autonomnih vozila. Osim toga, ulaganja su im usmjerena u najsuvremenije senzore, umjetnu inteligenciju i algoritme strojnog učenja,

s ciljem povećanja sigurnosti, pouzdanosti i učinkovitosti sustava za autonomnu vožnju. Toyota Motor Corporation usvaja strategiju usmjerenu na podatke u razvoju autonomnih vozila, prikupljajući i procjenjujući podatke o vožnji u stvarnom svijetu. S pomoću uvida prikupljenih analizom podataka poboljšavaju algoritme autonomne vožnje, jačaju mogućnosti predviđanja i precizno podešavaju performanse vozila i sigurnosne mjere (Global Market Insights, 2024). Kako navodi izvješće Mordor Intelligence (2024), trenutačno su autonomna vozila razine 2 i razine 3 najistaknutija na tržištu, dok se očekuje da će razina 4 i razina 5 (prema mjerilu Društva automobilskih inženjera (engl. *Society of Automotive Engineers* – SAE)) postići šire prihvaćanje do 2030. godine (Mordor Intelligence, 2024). Istraživanje koje je 2017. godine provela Nacionalna uprava za sigurnost prometa na cestama sugerira da sve veći broj autonomnih automobila može utjecati na sektore osiguranja, zdravstvene zaštite, interneta i infrastrukture. Korištenje vozila bez vozača doprinosi većoj sigurnosti, budući da je uzrok preko 90 % prometnih nesreća ljudska greška. Svake godine je u svijetu bilo više od 1,2 milijuna smrtno stradalih na cestama i oko 40 000 u Sjedinjenim Američkim Državama. Stoga uklanjanje ljudi s vozačevog sjedala značajno smanjuje nesreće, što pogoduje ozljedama i smrtima uzrokovanim vozilom (Sena, 2024). Iako bi više od 40 % kupaca diljem svijeta bilo spremno koristiti potpuno autonomne ili polu-autonomne automobile, oni još uvijek imaju neke nedoumice. Više od polovice kupaca zabrinuto je za sigurnost autonomnih automobila, a više od 30 % nije sigurno jesu li tehnologije potrebne za rad autonomnih vozila dovoljno napredne (Statista, 2022). Od 6. srpnja 2022. godine na snagu je stupio novi skup europskih pravila koji zahtijevaju da nova vozila budu opremljena nizom obveznih naprednih sustava za pomoć u vožnji kako bi se poboljšala sigurnost na cestama (EU Urban Mobility Observatory, 2022). Prema priopćenju za javnost Europske komisije (2022), nove sigurnosne mjere pomoći će u boljoj zaštiti putnika, pješaka i biciklista diljem EU-a, čime se očekuje da će spasiti više od 25.000 života i izbjeći najmanje 140.000 teških ozljeda do 2038. godine (European Commission, 2022). Kako navodi autor stranice Lider (Knez, 2024), Europska unija je potkraj prošle godine predložila prvi zakonodavni okvir u svijetu koji će omogućiti zemljama članicama da svake godine odobre registraciju i prodaju do 1.500 vozila po modelu vozila s instaliranom naprednom tehnologijom za samostalnu vožnju. U travnju 2024. godine je Kentucky postao 25. država SAD-a koja ima statut o implementaciji autonomnih vozila što znači da Sjedinjene Države mogu implementirati autonomna vozila u polovici svojih država, omogućavajući pristup takvim vozilima za 193 milijuna Amerikanaca, predstavljajući 56 % stanovništva (Farrah, 2024).

3. Autonomna vozila

U ovom poglavlju obrađuje se tehnologija koja je implementirana u autonomna vozila, prednosti i nedostaci takvih vozila, izazovi s kojima se susreću, regulacije koje su postavljene te kakav utjecaj imaju na sigurnost cestovnog prometa, ekonomiju i okoliš.

3.1. Tehnološki aspekt autonomnih vozila

U svibnju 2013. godine, Nacionalna uprava za sigurnost prometa na cestama (engl. *National Highway Traffic Safety Administration* – NHTSA) pokrenula je raspravu o politici automatiziranih vozila kada je objavila „Preliminarnu izjavu o politici koja se odnosi na automatizirana vozila“. Ova izjava o politici definirala je klasifikaciju automatiziranih vozila od pet razina (razine nula do četiri). U rujnu 2016. godine, „Izjava o politici“ uvelike se oslanja na okvire koje je razvilo Partnerstvo za mjerenje izbjegavanja sudara (engl. *Crash Avoidance Metrics Partnership* – CAMP) i relevantne SAE međunarodne standarde, posebno SAE J3016 – „Taksonomija i definicije za pojmove koji se odnose na sustave automatizirane vožnje motornih vozila na cesti“. Tako je NHTSA napustila svoj prethodni okvir od pet razina i usvojila okvir od šest razina SAE J3016 (Center for Automotive Research, 2016). Društvo automobilskih inženjera razvilo je široko prihvaćen sustav klasifikacije sa šest razina automatizacije temeljen na razini ljudske intervencije (Center for Sustainable Systems, 2023), što znači kako se razine povećavaju, povećava se opseg neovisnosti vozila bez vozača u pogledu kontrole rada (TWI, bez dat.). Prve tri razine automatizacije od SAE 1 do SAE 3 mogu se opisati kao oblik asistencije vozaču, a preostale razine, SAE 4 i SAE 5 mogu se opisati kao autonomna vozila (Knez, 2024). Te razine usvojilo je Ministarstvo prometa SAD-a (engl. *US Department of Transportation* – USDOT) (Cole, 2024), a Europski parlament očekuje da će vozila razine 5 biti dostupna do 2030. godine (European Parliament, 2019). Prema stranici HAK (2022), EU trenutno radi na dopuštanju prodaje automobila treće razine. U Tablici 1. prikazane su razine automatizacije prema McGillis (2023), Cole (2024) i TWI (bez dat.).

Tablica 1. Razine automatizacije autonomnih vozila

Razina 0	Vozila opremljena bez automatiziranih značajki, koja zahtijevaju da vozač ima potpunu kontrolu nad vozilom.
Razina 1	Vozač u potpunosti upravlja vozilom uz pomoć jedne automatizirane značajke. ADAS vozila ima mogućnost pomoći vozaču i to u obliku automatiziranog ubrzanja i kočenja – adaptivnog tempomata, u kojem se brzina automobila automatski prilagođava kako bi držala korak s brzinom

	prometa na sigurnoj udaljenosti; ili automatizirano upravljanje, u kojem vozaču pomažu značajke kao što je centriranje vozne trake. Naziva se <i>driver assistance</i> .
Razina 2	Automatizacija (ADAS) uključuje pomoć dviju automatiziranih značajki vozila, kao što su adaptivni tempomat i održavanje voznog traka, koje rade zajedno kako bi oslobodile vozača kontrole tih funkcija. Naziva se „djelomična automatizacija“.
Razina 3	Pod određenim uvjetima, automatizacija (ADAS) omogućuje vozilu da radi autonomno, ali vozač mora aktivno pratiti uvjete i odmah preuzeti kontrolu nad vozilom kada ga sustav upozori u određenim okolnostima. Naziva se „uvjetna automatizacija“.
Razina 4	Vozila opremljena značajkama koje omogućuju vozačima da postanu putnici, odričući se kontrole nad sigurnosnim funkcijama vozila. Sustavi automatizirane vožnje (engl. <i>Automated Driving Systems – ADS</i>) vozila može samostalno obavljati sve aspekte vožnje u definiranim okruženjima u kojima nije potrebna ljudska pozornost, poput lokalnog <i>taxi</i> bez vozača koji rade unutar <i>geofence</i> granica. Naziva se „visoka automatizacija“.
Razina 5	Uključuje potpunu automatizaciju pri čemu ADS vozila može obavljati sve aspekte vožnje u bilo kojem okruženju i uvjetima, a nije potrebna pomoć u vožnji od strane vozača. Naziva se „potpuna automatizacija“.

Izvor: Izrada autorice prema (Cole, 2024) i (TWI, bez dat.)

Autonomna vozila operiraju s pomoću tehnologije daljinskog očitavanja uključujući RADAR, LiDAR, GPS, kamere i V2X (engl. *vehicle-to-everything*) za praćenje i stvaranje 3D karte svog okruženja. Ovo okruženje obično uključuje uličnu infrastrukturu, druga vozila, pješake, semafore i prometne znakove. Snažni računalni sustavi obrađuju prikupljene podatke i donose odluke o radu vozila, kontinuirano prilagođavajući upravljanje, brzinu putovanja, ubrzanje i kočenje kako senzori obavještavaju o stalnim promjenama u okolini vozila (Cole, 2024).

Kamere su najbolje senzorsko rješenje za točan vizualni prikaz okoline autonomnog vozila. U autonomnim vozilima kamere su fiksirane na sve četiri strane — sprijeda, straga, s desne i s lijeve strane — kako bi dale pogled od 360°. Ove kamere koriste široka i uska vidna polja za percipiranje širokog pogleda kratkog dometa i pogleda dugog dometa. Široki objektiv koristi se u autonomnim vozilima za snimanje panoramskog pogleda koji pomaže pri

parkiranju (Cadence, bez dat.). No, tehnologija senzora kamere i razlučivost igraju vrlo veliku ulogu. Kamere su osjetljive na nepovoljne vremenske uvjete i varijacije u osvjetljenju. Međutim, kamere su jedina tehnologija senzora koja može uhvatiti informacije o teksturi, boji i kontrastu, a visoka razina detalja koju hvataju kamere omogućuje im da budu vodeća tehnologija za klasifikaciju. Ove značajke, u kombinaciji sa sve većom rezolucijom piksela i niskom cijenom, čine senzore kamere nezamjenjivim i vodećim u volumenu za ADAS i autonomne sustave (Ors, 2017). Oni snimaju slike ili videozapise okoline koji se mogu koristiti za otkrivanje i prepoznavanje objekata, poput pješaka, drugih vozila, semafora i prometnih znakova. Oni snimaju slike i daju informacije potrebne za prepoznavanje raznih predmeta na cesti, poput ljudi, semafora i drugih automobila. Sposobnost precizne identifikacije stvari primarna je prednost korištenja podataka s kamera visoke razlučivosti, a ta se sposobnost koristi za mapiranje 3D prikaza okoliša oko vozila. Međutim, u lošem vremenu, poput noći ili tijekom razdoblja jake kiše ili magle, ove kamere ne funkcioniraju tako precizno (Dorleco, 2024). Stereoskopske kamere postale su popularno rješenje. Ovi senzori koriste dvije leće postavljene na fiksnoj udaljenosti kako bi uhvatile dvije malo različite slike iste scene. Te se dvije slike zatim kombiniraju kako bi se stvorio 3D prikaz scene, pružajući točnije informacije o dubini objekata u okruženju. Sve u svemu, kamere su kritična komponenta autonomnih i ADAS sustava. Relativno su jeftini i imaju visoku razlučivost, što ih čini popularnim izborom za autonomne automobile. Međutim, kamere imaju ograničenja, osobito u uvjetima slabog osvjetljenja, i mogu imati problema s točnim identificiranjem objekata na velikim udaljenostima. Kamere, LiDAR i RADAR imaju svoje prednosti i slabosti i jasno je da niti jedan senzor ne može biti dovoljan da osigura sve potrebne podatke autonomnom vozilu. Umjesto toga, kombiniranjem podataka s više senzora, vozilo može izgraditi sveobuhvatnu sliku svoje okoline i kretati se sigurno i učinkovito (Foresight, 2023). Međutim, precizni vizualni prikazi kamere ne daju informacije o udaljenosti objekata od autonomnih vozila. Za određivanje udaljenosti objekata od vozila koristi se LiDAR tehnologija (Cadence, bez dat.).

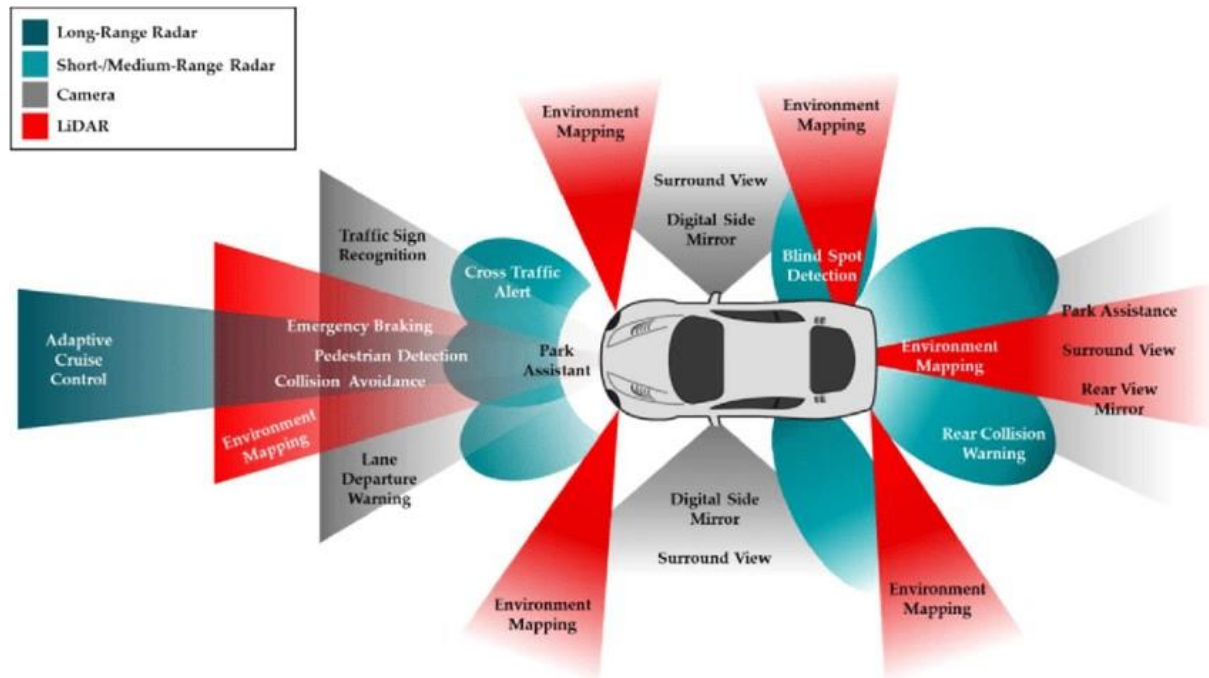
Tehnologija LiDAR pojavila se već 60-ih godina prošloga stoljeća i razvila se od primjene u aeronautici i svemiru do područja detekcije okoliša, kao što je današnja autonomna vožnja. Senzorska tehnologija LiDAR danas se najčešće povezuje s mobilnošću i autonomnom vožnjom i stoga se čini novijom nego što zapravo jest (Petit, 2020). Koristi laserske zrake (svjetlosne valove) za određivanje udaljenosti između dva objekta. U autonomnim vozilima, LiDAR je montiran na vrh vozila i okreće se velikom brzinom dok emitira laserske zrake. Laserske zrake odbijaju se od prepreka i putuju natrag do uređaja. Vrijeme potrebno da se to dogodi koristi se za određivanje udaljenosti, oblika i dubine prepreka koje okružuju autonomno vozilo (Cadence, bez dat.), što daje daleko precizniji dojam veličine i udaljenosti (Dorleco, 2024). Time se omogućava sustavu da stvori 3D mapu okoline. LiDAR

senzori su vrlo precizni, što ih čini idealnim za autonomna vozila. Također su učinkoviti u uvjetima slabog osvjetljenja i mogu precizno otkriti objekte po kiši, magli i snijegu. Međutim, relativno su skupi i na njih mogu utjecati neki okolišni čimbenici, poput prašine i dima (Foresight, 2023). Postavljen na vrh vozila, LiDAR može pružiti 360° 3D pogled na okolinu, odnosno prepreke koje vozilo treba izbjegavati (Ors, 2017). Nedostatak je to što imaju kompliciranu arhitekturu i dizajn, što znači da dodavanje jednog u automobil može rezultirati višestrukim povećanjem troškova proizvodnje. Nadalje, visoki zahtjevi za procesorskom snagom ovih senzora čine njihovo kombiniranje u mali dizajn izazovom. Većina LiDAR senzora radi na 905 nm, što omogućuje precizno prikupljanje podataka u ograničenom vidnom polju do 200 m (Dorleco, 2024). Iako LiDAR može uhvatiti položaj, oblik, veličinu i dubinu prepreke, lažni odjeci koji prikazuju udaljene objekte kao objekte u blizini i obrnuto, mogu stvoriti neispravan rad. Ne uspijeva razlikovati više kopija laserskih signala i pokazuje nepostojeće prepreke autonomnim vozilima. Stoga je RADAR tehnologija najbolji i najprecizniji senzor za autonomna vozila (Cadence, bez dat.).

RADAR se u automobilske industriji koristi desetljećima. Računalno je lakši od ostalih senzorskih tehnologija i može raditi u gotovo svim uvjetima okoline (Ors, 2017). Autonomna vozila opremljena radarskim sensorima koriste radiovalove za skeniranje okoline i određivanje točne veličine, kuta i brzine objekata. Veličinu, brzinu i udaljenost objekta od vozila određuje senzor, koji emitira radio valove putem odašiljača u sebi i mjeri koliko je vremena potrebno da se valovi reflektiraju. Radarski senzori su se u prošlosti koristili u oceanskoj navigaciji i prognoziranju vremena. To je zato što nadmašuje senzore temeljene na viziji zbog svoje vrlo dosljedne izvedbe u širokom rasponu vremenskih uvjeta (Dorleco, 2024). RADAR senzori se mogu klasificirati prema rasponu udaljenosti rada: radar kratkog dometa (engl. *Short Range Radar* – SRR) od 0,2 do 30 m, radar srednjeg dometa (engl. *Medium Range Radar* – MRR) u rasponu od 30 do 80 m i radar dugog dometa (engl. *Long Range Radar* – LRR) od 80 do više od 200 m (Ors, 2017). LiDAR i RADAR rade na sličnim principima, ali RADAR tehnologija koristi radiovalove za otkrivanje prisutnosti i lokacije objekata, a ne svjetlosne valove. RADAR senzor emitira radio signal koji se odbija od objekata na svom putu, a senzor zatim prima reflektirani signal. Analizom ovog signala, RADAR može odrediti lokaciju, brzinu i smjer detektiranih objekata, a te se informacije mogu koristiti za predviđanje njihovog budućeg kretanja i putanje. RADAR može odašiljati i primati signale na većim udaljenostima od LiDAR-a, što ga čini korisnim za otkrivanje objekata na većim udaljenostima. Može raditi u širem rasponu vremenskih uvjeta u usporedbi s LiDAR-om i kamerama – što je važna značajka s obzirom na to da vozila moraju raditi u svim vrstama nepredvidivih vremenskih uvjeta. Također je jeftiniji od LiDAR-a, što ga čini isplativom opcijom za mnoge primjene. S druge strane, RADAR senzori imaju nižu razlučivost od LiDAR-a ili kamera, što može otežati prepoznavanje

malih objekata ili razlikovanje sličnih objekata. Još jedno ograničenje je da na RADAR mogu utjecati smetnje drugih RADAR sustava, što može smanjiti njegovu točnost (Foresight, 2023).

U nastavku je prikazana Slika 1. koja pokazuje položaj spomenutih senzora na autonomnom vozilu.



Slika 1. Položaj senzora u autonomnom vozilu (Izvor: Yeong, 2021)

Osim RADAR-a, LiDAR-a i tehnologije kamere, prava autonomija zahtijevat će da vozilo komunicira u okruženju s više agenata u stvarnom vremenu. Ovdje dolazi komunikacija između vozila i svega (engl. *vehicle-to-everything* – V2X). V2X omogućuje da „vidi“ čak i dalje od onoga što je u blizini, oko zavoja, oko drugih vozila, kroz gusto urbano okruženje, pa čak i do jedne milje (~1,61 kilometara). S komunikacijom V2X, automobili mogu „razgovarati“ s drugim automobilima, motociklima, vozilima hitne pomoći, semaforima, digitalnim prometnim znakovima i pješacima, čak i ako nisu izravno u izravnom vidnom polju automobila. Sustavi kamera pružaju najveću pokrivenost aplikacija te informacije o boji i teksturi, tako da se predviđa da će broj senzora kamera u vozilima do 2030. godine imati najveći rast količine od blizu 400 milijuna jedinica. Obje tehnologije su također spremne vidjeti veliki postotni rast i količine koje će doseći 40-50 milijuna jedinica do 2030. godine (Ors, 2017).

Industrija autonomnih vozila svjedoči značajnom tehnološkom napretku u LiDAR-u, RADAR-u, kamerama i drugim sensorima. Ova poboljšanja poboljšavaju percepciju okoline, omogućujući precizniju i pouzdaniju navigaciju u različitim situacijama. Poboljšani algoritmi kao

što su umjetna inteligencija i strojno učenje omogućuju autonomnim vozilima da donose bolje odluke u stvarnom vremenu, upravljaju kompliciranim okolnostima i prilagođavaju se promjenjivim postavkama vožnje. Naposljetku, napredak u tehnologiji čipova omogućuje bržu obradu podataka senzora na vozilu, povećavajući vrijeme reakcije i donošenje odluka (Global Market Insights, 2024). Tehnologija povezanih vozila omogućuje komunikaciju s drugim vozilima i infrastrukturom. Upotrebom radijskih signala, povezana vozila mogu „vidjeti“ jedno drugo i svoju okolinu, stvarajući potpuniju sliku svog okruženja uključujući infrastrukturu, vozila i druge sudionike u prometu, bilo u izravnom vizualnom pogledu ili ne. To dovodi do sigurnijeg okruženja za vozače, pješake i bicikliste. Strojno učenje i umjetna inteligencija temeljni su elementi automatiziranih sustava vozila. Putem strojnog učenja, vozila se obučavaju da uče iz složenih podataka koje primaju kako bi poboljšala algoritme pod kojima rade i proširila svoju sposobnost kretanja cestom. Umjetna inteligencija omogućuje sustavima vozila da donose odluke o tome kako upravljati bez potrebe za posebnim uputama za svaku potencijalnu situaciju s kojom se susreću tijekom vožnje (Cole, 2024).

3.2. Prednosti i nedostaci autonomnih vozila

Autonomna vozila imaju potencijal napraviti revoluciju u logističkoj i transportnoj industriji, nudeći niz prednosti koje mogu pomoći tvrtkama da povećaju učinkovitost, smanje troškove i poboljšaju sigurnost. Za početak, mogu pomoći u poboljšanju učinkovitosti logističkih i transportnih operacija optimizacijom ruta i smanjenjem vremena isporuke. Korištenjem podataka u stvarnom vremenu za prilagođavanje ruta i izbjegavanje prometa, tvrtke mogu poboljšati vrijeme isporuke i smanjiti rizik od kašnjenja isporuke. Autonomna vozila također mogu pomoći tvrtkama da poboljšaju upravljanje zalihama pružanjem podataka u stvarnom vremenu o lokacijama i vremenima isporuke, omogućujući tvrtkama bolje planiranje i upravljanje razinama zaliha. Jedna od glavnih prednosti autonomnih vozila je povećana sigurnost. U industriji logistike i transporta, povećana sigurnost može imati značajan utjecaj na stope nesreća i troškove osiguranja (Khan, 2023). Nesreće su često uzrokovane umorom vozača, nedostatkom pažnje ili nepravilnim ponašanjem (Swarco, bez dat.) što govori podatak da je gotovo 90 % svih nesreća uzrokovano ljudskom greškom (Reissmann, 2024). Uz eliminaciju vozača kao izvora pogreške (Swarco, bez dat.), autonomna vozila mogu eliminirati mnoge rizike, kao što su rastresena vožnja, prebrza vožnja i vožnja pod utjecajem droga ili alkohola (Khan, 2023). Povećanjem inovativnosti sustava (senzori, kamere i sustav umjetne inteligencije), vožnja se može učiniti učinkovitijom, a stopa nesreća može se smanjiti. Osim toga, autonomna vozila imaju kraće vrijeme reakcije i time skraćuju vrijeme kočenja i pokretanja (Swarco, bez dat.) kako su opremljena nizom senzora i kamera što im omogućuju otkrivanje potencijalnih opasnosti i reagiranje na njih brže i točnije od ljudskog vozača (Khan,

2023). Sljedeća prednost se odnosi na vrijeme i udobnost. Ovisno o razini autonomnog vozila, vozači mogu sjediti i opustiti se, uzeti kratke stanke i posvetiti svoje vrijeme drugim stvarima. U najboljem slučaju, s vozilom razine 5 vozač je samo putnik, dok ga prijevozno sredstvo pouzdano vodi do odredišta. Nadalje, pružajući veću učinkovitost u prometu, autonomna vozila mogu međusobno komunicirati i koordinirati se. Tako mogu poboljšati protok prometa i povećati kapacitet ceste. Time se smanjuju dosadne prometne gužve koje oduzimaju vrijeme, omogućavaju kraće rute i općenito čine vožnju učinkovitijom i štedljivom u pogledu energije. To također nudi velike prednosti u logistici. Nadalje se ističe smanjenje emisije ugljikovog dioksida (CO₂). Učinkovita vožnja vozila smanjuje tu emisiju kako tehnologija igra važnu ulogu – ekološki prihvatljive alternative poput električnih baterija, hibridnih pogona ili pogona na bazi vodika pogoduju tome jer sustav može izračunati vrijeme punjenja baterije i punjenja gorivom te planirati na vrijeme potrebno punjenje. Još jedna velika prednost su smanjeni operativni troškovi kako prijevoz bez vozača nudi mogućnosti uštede (Swarco, bez dat.). Uklanjanjem potrebe za ljudskim vozačima, poduzeća mogu uštedjeti na troškovima rada i poboljšati učinkovitost svojih operacija (Khan, 2023). Tako se uštedeni troškovi mogu iskoristiti za otvaranje novih područja i proširenje usluga. Isto vrijedi i za prijevoz tereta – s autonomnim vozilima, procesi isporuke mogu se odvijati u vrijeme manje gužve u prometu (Swarco, bez dat.). Također mogu pomoći u smanjenju potrošnje goriva i troškova održavanja optimiziranjem ruta i obrazaca vožnje kako bi se smanjilo rabljenje vozila. Optimizacijom ruta mogu pomoći i u poboljšanju učinkovitosti logističkih i transportnih operacija, kao i sa smanjenjem vremena isporuke (Khan, 2023). Usto, mogu minimizirati rizik od nezgoda i povezane troškove, kao što su premije osiguranja i popravci vozila (Copperdigital, bez dat.).

Unatoč brojnim prednostima autonomne vožnje, ima i brojnih nedostataka. Iako je sigurnost prednost, spominje se i kao nedostatak – ipak nisu potpuno sigurni. Vozilo mora obraditi svoje okruženje kako bi donijelo prosudbe koristeći tehnologiju percepcije i donošenja odluka. Međutim, prema nekim izvješćima postojeća vozila bez vozača neispravno percipiraju nešto u svojoj okolini svakih desetak tisuća sati, ostavljajući otvorena vrata sigurnosnim problemima koji mogu pridonijeti prometnim nesrećama. Drugim riječima, tehnologija nije savršena (Mattar, bez dat.). Sljedeći nedostatak je tehnički razvoj. Sustav koji sudjeluje u cestovnom prometu mora prenositi, procjenjivati i izračunavati velike količine podataka u stvarnom vremenu za točna predviđanja. Kako bi se u potpunosti sagledalo okruženje vožnje s velikim brojem sudionika u prometu i brojnim dinamičkim procesima (čak i u teškim i složenim situacijama), ovaj sustav mora biti visoko inovativan – inače ne može pouzdano planirati tijekom vožnje u smislu prostora i vremena. Stoga već jedna pogreška u softveru može dovesti do prometnih nesreća (Swarco, bez dat.). Trenutna tehnologija bez vozača često zahtijeva ljudsku intervenciju ili ljudsku kontrolu pod određenim uvjetima. Od vozača se može tražiti da drži ruke na upravljaču ili da ga se upozori na cestu, u određenim trenucima. To znači da autonomna

vozila nisu potpuno autonomna i stoga element ljudske pogreške i dalje postoji (Mattar, bez dat.). Važno je napomenuti da tehnički sustav ne može „sazrjeti“ samo testiranjem, budući da se ne može realno generirati nijedno testno okruženje koje stvarno pokriva sve situacije. Preduvjet je stoga prilagodljiv sustav koji je sposoban otkriti i ispraviti pogreške. Nadalje, troškovi – sama tehnologija je vrlo skup faktor pa su početni troškovi nabave vrlo visoki. Kad je u pitanju softver, uvijek su prisutna dva problematična aspekta: hakerski napadi i problemi zaštite podataka te je to nedostatak u vidu nadzora. Dakle, automobil koji je neprekidno *online*, slično osobnom računalu i pametnom telefonu, pruža područja napada za zlonamjerne napade. Rizici po pitanju privatnosti stoga se ne mogu isključiti. Nedostatak je i *Rebound* efekt – budući da autonomna vozila prvenstveno karakterizira udobnost, moguće je da će steći veliku popularnost te da će to biti popraćeno povećanjem prometa osobnih automobila. Kako bi se spriječio značajan porast broja vozila na cestama, a time i ekološki negativni učinci, potrebno je kontrolirati registraciju autonomnih vozila. Drugi nedostatak je komunikacija između autonomnih vozila. Budući da ne komuniciraju vizualno, bitni su sljedeći načini razmjene podataka: *car-2-X* komunikacija, komunikacija *car-2-car*, komunikacija s mobilnim uređajima, razmjena podataka s proizvođačem, evaluacija podataka o okolišu i umrežavanje sa sustavima kontrole prometa. To rezultira velikim količinama podataka koje se moraju prenositi u stvarnom vremenu. Stoga je izazovno razviti mreže koje omogućuju ovu razmjenu pouzdano i sveobuhvatno. U slučaju nesreće kod koje za volanom nije bila osoba, prometno se zakonski procjenjuje situacija potpuno drugačije nego dosad. Prometni zakon morat će se prilagoditi prisutnosti autonomnih vozila na cesti. Uostalom, osoba ne može biti osuđena u slučaju prometnog prekršaja koje je uzrokovalo automatizirano vozilo (Swarco, bez dat.). Pojava autonomnih vozila mogla bi imati i ljudsku cijenu – gubitak posla (Mattar, bez dat.). Ono što je prednost za korporacije, može biti nedostatak za pojedince. Tamo gdje se ostvaruju uštede u pogledu zaposlenika kako bi se proširile automatizirane transportne mreže, mnogi poslovi mogu biti izgubljeni, na primjer u sektoru transporta (Swarco, bez dat.). Tehnologija se još uvijek se razvija, ali mnogi proizvođači namjeravaju stvoriti potpuno autonomna vozila za obavljanje raznih funkcija i poslova, uključujući komercijalni prijevoz (Mattar, bez dat.). To bi rezultiralo velikim brojem nezaposlenih, a prema američkom Zavodu za radnu statistiku (2024), više od dva milijuna ljudi vozi kamione s prikolicom, a više od 680 000 ljudi radi kao vozači osobnih vozila (Bureau of Labor Statistics, 2024).

3.3. Izazovi pri implementaciji autonomnih vozila

Kako se autonomna vozila nastavljaju razvijati, pojavljuje se mnogo različitih izazova. Uz tehničke izazove, postoje i značajne društvene, pravne i etičke. Društveno prihvaćanje autonomnih vozila leži u povjerenju javnosti u njihovu sigurnost i pouzdanost, što zahtijeva

sveobuhvatnu i pouzdanu provjeru sigurnosti. Nadalje, regulatorni okvir za autonomna vozila se još uvijek razvija i predstavlja značajan izazov. Konačno, postoje i etičke dileme koje se odnose na sposobnosti donošenja odluka autonomnih vozila u kritičnim situacijama. Višestruki izazovi bit će ključni dio prema budućnosti u kojoj autonomna vozila postaju raširena stvarnost (Giannaros i sur., 2023) te su spomenuti u sljedećim potpoglavljima.

3.3.1. Sigurnosni aspekti i tehnološka ograničenja

Sigurnost je jedna od primarnih briga kod svake nove tehnologije, osobito one koja uklanja ljudski element iz složenog zadatka kao što je vožnja. Tvrtke s autonomnim vozilima suočavaju se s teškim zadatkom osiguravanja da su njihovi sustavi sigurni u širokom rasponu potencijalnih situacija na cesti. Međutim, incidenti visokog profila koji uključuju autonomna vozila učinili su javnost skeptičnom (TaskUs, 2024). Neočekivani kvarovi softverskog sustava mogu uzrokovati nesreće u kojima sudjeluju drugi sudionici u prometu (Paredes, 2023). Kako bi se riješili sigurnosni problemi, potrebno je kontinuirano usavršavanje senzorskih tehnologija kao što su LiDAR, RADAR i kamere. U kombinaciji sa sofisticiranim algoritmima umjetne inteligencije, ova poboljšanja mogu dovesti do pouzdanije percepcije i donošenja odluka (TaskUs, 2024). Autonomna vozila suočavaju se s tehnološkim ograničenjima koja se moraju prevladati. Nepovoljni vremenski uvjeti, poput jake kiše ili snijega, mogu utjecati na performanse senzora i spriječiti sposobnost vozila da točno uoči okolinu. Tehnološki izazovi također se javljaju u složenim urbanim sredinama s velikim prometom pješaka i biciklista, gdje prepoznavanje i predviđanje ljudskog ponašanja postaje zamršenije (Copperdigital, bez dat.).

3.3.2. Regulatorni okvir i javna percepcija

Jedan od glavnih izazova u širokom usvajanju autonomnih vozila je razvoj i implementacija sveobuhvatnih regulatornih okvira (Mansour, 2023). Propisi o autonomnim vozilima uvelike se razlikuju od zemlje do zemlje, što kompanijama otežava međunarodnu implementaciju autonomnih vozila. Na primjer, Japan dopušta autonomna vozila razine 4 ako se pridržavaju njegovih strogih sigurnosnih standarda, dok SAD ima pristup od države do države gdje su neke države poput Arizone vrlo otvorene za testiranje autonomnih vozila. U Kini je vlada naklonjena autonomnim vozilima, zalažući se za brzi napredak s popustljivim propisima. U međuvremenu, Njemačka i šira EU razvijaju okvire koji su oprezniji, ali podržavaju inovacije autonomnih vozila, kao što se vidi u nedavnim zakonskim izmjenama njemačkog Zakona o cestovnom prometu kako bi se omogućila vozila bez vozača na javnim cestama pod određenim uvjetima (TaskUs, 2024). Vlade i regulatorna tijela moraju uspostaviti smjernice za testiranje, certificiranje i postupke kako bi se osigurala sigurnost i pouzdanost autonomnih sustava (Copperdigital, bez dat.). Usto, neophodno je suradnja tvrtki s vladama i

međunarodnim tijelima na uspostavljanju saveznih smjernica i međunarodnih sporazuma za regulatornu koheziju i stvaranju predvidljivijeg okruženja za inovacije i širenje (TaskUs, 2024).

Značajan izazov koji utječe na usvajanje autonomnih vozila je percepcija javnosti, njihovo povjerenje i prihvaćanje (Copperdigital, bez dat.). Zapravo se radi o prevladavanju psiholoških prepreka povezanih s usvajanjem tehnologije autonomnih vozila. Neodlučnost potrošača pripisuje se strahovima od premještanja s posla, posebno u sektoru prijevoza te zabrinutosti oko povjeravanja vozačkih dužnosti i ljudskih života stroju (TaskUs, 2024). Također, mnogi u početku mogu oklijevati ili se protiviti dijeljenju ceste s vozilima bez vozača zbog zabrinutosti oko sigurnosti i pouzdanosti tehnologije autonomnih vozila. Ključno je da tvrtke, razvijajući tehnologije i vlade ulažu u obrazovanje i kampanje podizanja svijesti koje naglašavaju sigurnosne prednosti i potencijalna poboljšanja uvjeta na cestama koje donose autonomna vozila. Opsežnim testiranjem, transparentnom komunikacijom i educiranjem javnosti o prednostima i ograničenjima autonomnih vozila, ključno je za dobivanje prihvaćanja (Copperdigital, bez dat.) i izgradnje povjerenja javnosti za uspješnu implementaciju autonomnih vozila u logističkom sektoru i šire (Mansour, 2023).

3.3.3. Kibernetička sigurnost

Sofisticirani sustavi i tehnologije koji se koriste u autonomnim vozilima također izazivaju zabrinutost oko kibernetičke sigurnosti (engl. *Cybersecurity*) (Mansour, 2023). Kako se povezana vozila oslanjaju na komunikacijske sustave i softver (Copperdigital, bez dat.), ranjiva su na hakiranje ili druge zlonamjerne aktivnosti, koje bi mogle ugroziti njihovu sigurnost i učinkovitost. Kako bi odgovorili na ovaj izazov, tvrtke i vlade moraju surađivati kako bi uspostavili snažne sigurnosne mjere koje štite integritet autonomnih vozila i osiguravaju njihov siguran rad. Ova suradnja može uključivati razvoj standarda za cijelu industriju, razmjenu najboljih praksi i ulaganje u napredne tehnologije kibernetičke sigurnosti posebno dizajnirane za autonomna vozila (Mansour, 2023). Osiguravanje snažnih mjera kibernetičke sigurnosti, uključujući enkripciju, protokole provjere autentičnosti i redovita ažuriranja softvera, štiti autonomna vozila od kibernetičkih prijetnji (Copperdigital, bez dat.).

3.3.4. Utjecaj na radnu snagu, infrastrukturu i etička pitanja

Prijelaz na autonomna vozila može dovesti do poremećaja radne snage i premještanja s posla. Određene uloge u prijevozu, poput vozača kamiona i taksija, mogle bi postati zastarjele kako autonomna vozila postaju sve prisutnija. Priprema za ovu tranziciju pružanjem mogućnosti prekvalifikacije i stvaranjem novih radnih mjesta koja koriste tehnologiju autonomnih vozila ključna je za ublažavanje utjecaja na radnu snagu (Copperdigital, bez dat.). Izazov predstavljaju i značajna ulaganja i prilagodbe infrastrukture potrebne za skaliranje

razvoja autonomnih vozila od prototipa do masovne proizvodnje (TaskUs, 2024). Ceste i prometni sustavi moraju biti opremljeni tehnologijama koje podržavaju autonomna vozila poput odgovarajuće signalizacije, oznaka na cestama i komunikacijske infrastrukture, što bi olakšalo operativnost samih vozila. Osim toga, infrastruktura za punjenje autonomnih električnih vozila mora se proširiti kako bi se zadovoljila rastuća potražnja. Vozila također pokreću etičke dileme koje je potrebno pažljivo razmotriti. Na primjer, u situacijama u kojima je nesreća neizbježna, sustavi autonomnih vozila moraju donositi odluke kojima je prioritet smanjenje štete (Copperdigital, bez dat.). Štoviše, razvoj softvera za potpuno autonomnu vožnju neizmerno je složen zadatak. Sustavi moraju analizirati ogromne količine podataka senzora u stvarnom vremenu i donositi odluke u djeliću sekunde poput ljudskog vozača ili čak i bolje, što predstavlja jedinstvena etička pitanja s autonomnim vozilima. U situacijama života i smrti, trebaju li autonomna vozila dati prednost putnicima ili pješacima? Trebaju li vozila dati prednost većem dobru ili osobnoj sigurnosti? Te dileme nisu lako rješive i podložne su kulturološkim i individualnim razlikama u moralnoj prosudbi što predstavlja složen izazov (TaskUs, 2024).

3.3.5. Privatnost podataka i dugoročno održavanje

Autonomna vozila uvelike se oslanjaju na prikupljanje i obradu golemih količina podataka (TaskUs, 2024) kako bi pravilno funkcionirala, uključujući informacije o lokaciji i očitavanja senzora (Copperdigital, bez dat.). Međutim, ovo oslanjanje na podatke izaziva zabrinutost u pogledu privatnosti i sigurnosti podataka o autonomnom vozilu. Kako vozila postaju sve povezanija i upravljaju podacima, ranjivija su na potencijalne kibernetičke napade koji bi mogli ugroziti privatnost i javnu sigurnost pojedinaca (TaskUs, 2024). Osiguravanje privatnosti i sigurnosti ovih podataka je ključno. Uspostavljanje ravnoteže između korištenja podataka za poboljšanje autonomnih sustava i zaštite prava pojedinaca na privatnost izazov je s kojim se treba baviti snažnim propisima i praksama o privatnosti podataka (Copperdigital, bez dat.). Tvrtke bi trebale ulagati u napredne metode šifriranja, stalna sigurnosna ažuriranja, kontinuirano praćenje prijetnji i testiranje prodora. Osim toga, transparentnost o politici podataka i strogo pridržavanje propisa o privatnosti ključni su za stjecanje i održavanje povjerenja korisnika. Postavljanje industrijskih standarda i najboljih praksi može pomoći u rješavanju izazova autonomne vožnje i uvjeriti korisnike i dionike o predanosti tvrtki autonomnih vozila u pogledu zaštite osjetljivih informacija (TaskUs, 2024). Uspostavljanje mehanizama za dugoročno održavanje, nadogradnje i softverske popravke tijekom životnog vijeka ovih vozila, od važnog je značaja za rješavanje rastućih tehnoloških potreba i sigurnosnih ranjivosti. Stoga autonomna vozila zahtijevaju redovito održavanje i ažuriranje softvera kako bi se osiguralo njihovo pravilno funkcioniranje i sigurnost (Copperdigital, bez dat.).

3.4. Prilagodba autonomnih vozila promjenama u regulaciji i tehnologijama

Autonomna vožnja bit će jedan od najvećih društvenih i tehnoloških izazova u nadolazećim godinama. Mnogi proizvođači razvijaju nove modele s najsuvremenijim funkcionalnostima koje nisu uključene u opseg trenutnog regulatornog okvira. Kreatori politika i regulatorna tijela pomiču svoje granice na svim razinama (nacionalnoj i međunarodnoj) kako bi uveli izmjene u postojeće regulacije. Provedba jasnog i usklađenog regulatornog okvira i procesa odobravanja je iznimno potrebna (Lafuente i sur., 2019). Regulacije ciljaju na usklađenost automatiziranih vozila sa sigurnošću, zakonskom odgovornošću i očekivanjima javnosti u vezi s privatnošću (Dentons, 2024). Ona utvrđuje jasne zahtjeve koji se temelje na performansama kojih se moraju pridržavati proizvođači autonomnih vozila prije nego što se opremljena vozila mogu prodavati u zemljama u kojima je regulacija obavezna. Uključuje odredbe koje uređuju homologaciju tipa, tehničke zahtjeve, reviziju i izvješćivanje te testiranje na ispitnim stazama i u stvarnim uvjetima (UNECE, 2022). Sigurnost i odgovornost su na prvom mjestu, a regulatori se usredotočuju na pitanja kao što su prometne gužve, sigurnost pješaka i spremnost infrastrukture. Privatnost podataka, kibernetička sigurnost i odgovorna primjena umjetne inteligencije također su veliki problemi (Dentons, 2024). Pravni i politički okviri mogu se uvelike razlikovati ovisno o nadležnosti, čak i unutar jedne zemlje (Dentons, 2023) te ne postoji usklađen regulatorni okvir primjenjiv u cijelom svijetu. U Europi je regulatorni okvir definiran direktivama, uredbama i standardima EU. Međutim, u drugim je zemljama uobičajeno pronaći druge okvire kao što je njihov vlastiti specifični regulatorni okvir. U nekim slučajevima, njihov vlastiti specifični regulatorni okvir koristi zahtjeve propisa Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (engl. *United Nations Economic Commission for Europe* – UNECE) kao osnovu (Connected Automated Driving, 2023).

3.4.1. Tijela za regulatorni okvir autonomnih vozila

Osnovana 1947. godine, UNECE ima ključnu ulogu u razvoju globalnih regulatornih okvira za autonomna vozila (UNECE, 2021). U središtu je pravnog i regulatornog rada potrebnog za ostvarenje vizije nove održive mobilnosti i podupiranje masovnog uvođenja autonomnih vozila na ceste. U 2016. godini postignute su dvije prekretnice; Bečka konvencija o cestovnom prometu iz 1968. godine (izmijenjena je kako bi se otvorila vrata automatiziranim vozilima u prometu) i ograničenje od 10 km/h za autonomne sustave uklonjeno je iz Pravilnika UN-a br. 79 (UNECE, bez dat.). Stvorena za povećanje sigurnosti na cestama kroz razmjenu dobrih praksi kako bi se izvukla najbolja zajednička rješenja, Bečka konvencija o cestovnom prometu iz 1968. godine ključni je pravni instrument koji čini osnovu za većinu prometnih

pravila diljem svijeta, zapravo predstavljajući osnovni okvir za regulaciju cestovnog prometa. Do izmijenjene konvencije u 2016. godini došlo je zbog napretka za tehnologije automatizirane vožnje stupanjem na snagu amandmana na Konvenciju o cestovnom prometu koji dopušta prijenos zadataka vožnje na vozilo, pod uvjetom da su te tehnologije u skladu s propisima Ujedinjenih naroda o vozilima ili da se mogu nadjačati ili su isključene od vozača (Clepa, 2018). Prije spomenuta UN Uredba br. 79 (sustavi za autonomno upravljanje), uspostavljena prema Sporazumu iz 1958. godine, sadržavala je odredbe za odobrenje Automatski zapovijedane funkcije upravljanja (engl. *Automatically Commanded Steering Functions – ACSF*) ograničenih na 10 km/h i Korektivnih funkcija upravljanja (engl. *Corrective Steering Functions – CSF*) tijekom dva desetljeća. Ovo ograničenje brzine spriječilo je tipsko odobrenje sustava za pomoć vozaču za postizanje veće brzine. Neki su proizvođači razvili funkcije održavanja voznog traka koje koriste elektroničku kontrolu stabilnosti (engl. *Electronic Stability Control – ESC*) kako bi se nosili s ovim ograničenjem (UNECE, 2021). UN Uredba br. 79 definira sustave autonomnog upravljanja na sljedeći način:

„Sustav autonomnog upravljanja” znači sustav koji uključuje funkciju unutar složenog elektroničkog upravljačkog sustava koji uzrokuje da vozilo slijedi definiranu putanju ili da promijeni svoju putanju kao odgovor na signale pokrenute i odaslane izvan vozila. Vozač neće nužno imati primarnu kontrolu nad vozilom. (UNECE, 2022)

Odbor za unutarnji promet (engl. *The Inland Transport Committee – ITC*) najviše je tijelo UNECE-a za donošenje politika u području prometa (Connected Automated Driving, 2023). Putem Svjetskog foruma za harmonizaciju propisa o vozilima, nadalje u tekstu WP.29, organizirano od strane UNECE i UN-ovih instrumenata za sigurnost cestovnog prometa, platforma je na kojoj se zemlje iz cijelog svijeta okupljaju kako bi zajednički razvile regulatorne okvire koji reguliraju ova vozila. Stoga je od 2014. godine UNECE krenuo u prilagodbu postojećih pravnih instrumenata i razvoj novih kako bi se olakšalo postupno uvođenje funkcija automatizirane vožnje. U nastojanju da usmjeri svoje aktivnosti na automatizaciju, UNECE je 2018. godine osnovao Radnu skupinu za automatizirana/autonomna i povezana vozila, nadalje u tekstu GRVA (engl. *Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles*). GRVA je pomoćno tijelo WP.29 koje priprema zakonske prijedloge o aktivnoj sigurnosti, naprednim sustavima pomoći vozaču, sustavima automatizirane vožnje i povezanim vozilima. Od uspostave GRVA-e, Radna skupina je stvorila globalnu shemu za razvoj zahtjeva i smjernica za automatizirana i povezana vozila, odnosno Okvir za automatizirana/autonomna i povezana vozila, nadalje u tekstu FDAV (engl. *Framework on Automated/Autonomous and Connected Vehicles*), koji uvelike usmjerava rad GRVA-e. Ovaj okvir izradili su Kina, Europska unija, Japan i Sjedinjene Američke Države, a odobrili su ga Svjetski forum za usklađivanje propisa o vozilima i UNECE-ov Odbor za unutarnji promet. Dokument definira sigurnosnu viziju, ključne sigurnosne elemente, smjernice radnim

skupinama WP.29 kao i program aktivnosti. Ove aktivnosti, na međuvladinoj razini, čine novu inicijativu usmjerenu na usklađivanje globalnih propisa o automatiziranoj vožnji i stvaranje produktivnijeg okruženja za inovacije (UNECE, 2021).

U 2014. godini počele su aktivnosti na razvoju regulatornih odredbi prema kojima se ograničenje od deset km/h može prekoračiti. Time je stvorena regulatorna osnova prema kojoj su proizvođači vozila mogli ući na tržište s ADAS-om, odnosno tehnologijama razine 1 i 2. Od osnutka GRVA, automobilski sektor duboko je transformirao način na koji se bavi kibernetičkom sigurnošću, kao i dalje generalizirane ADAS sustave koji obavljaju održavanje voznog traka ili promjenu na autocestama. Ovi impresivni razvoji također su podržani prvom UN uredbom za odobrenje sustava razine 3 koji obavljaju automatizirano držanje voznog traka pri maloj brzini na autocestama, slučaj uporabe koji pokriva, na primjer, situacije zagušenog prometa (UNECE, 2021). Od 2022. godine visokoautomatizirana vozila s funkcijama autonomne vožnje mogu se odobriti u EU. Međutim, korištenje takvih vozila u zemljama EU u početku je ograničeno na rute za koje je potrebno odobrenje. Značajan napredak postignut je 2023. godine – od siječnja je UN-ova uredba (serije UN-R157-01), u Japanu i EU dopuštala automobilima razine 3 vožnje brzinom do 130 km/h u određenim prometnim situacijama kao što su na autocestama i pri mijenjanju traka (Mercedes-Benz Group, 2024). Prvo serijsko vozilo opremljeno automatiziranim sustavom za držanje trake (engl. *Automated Lane Keeping System* – ALKS) u skladu s UN uredbom br. 157 prema Sporazumu iz 1958. godine stavljeno je na tržište 2021. godine (UNECE, 2021). Kako navodi GRVA, putem WP.29, ta se Uredba primjenjuje na homologaciju tipa vozila kategorije M i N s obzirom na njihov automatski sustav za držanje trake. Nadalje navodi da je taj sustav, ALKS sustav koji aktivira vozač i koji drži vozilo unutar svoje trake za brzinu od 130 km/h ili manje kontrolirajući bočna i uzdužna pomicanja vozila tijekom duljeg razdoblja bez potreba za daljnjim uključivanjem vozača (Economic and Social Council, 2022). Tehnička pitanja se reguliraju na razini Europske unije i ona određuju sigurnosne uvjete za homologaciju automatiziranih vozila, odnosno njihovih sustava automatizirane vožnje. Pitanja sigurnosti prometa, osiguranja i usluge, odnosno prijevoza putnika, reguliraju se na nacionalnoj razini (Knez, 2024).

3.4.2. Regulacije Europske unije povezane s autonomnom vožnjom

Okvir za odobrenje tipa je regulatorni okvir za homologaciju vozila u Europskoj uniji koji se temelji na Uredbi (EU) 2018/858. Ova uredba o homologaciji i tržišnom nadzoru motornih vozila i priključnih vozila te sustava, dijelova i zasebnih tehničkih jedinica namijenjenih takvim vozilima primjenjuje se od rujna 2020. godine. Izmjena (EU) 2018/858 i što se tiče sigurnosnih pitanja, revidirana Opća sigurnosna uredba – Uredba (EU) 2019/2144 Europskog parlamenta i Vijeća usvojena 27. studenog 2019. godine o zahtjevima za homologaciju tipa motornih vozila i njihovih prikolica te sustava, komponenti i zasebnih tehničkih jedinica namijenjenih takvim

vozilima, u pogledu njihove opće sigurnosti i zaštite putnika u vozilu i ranjivih sudionika u prometu definirala je putokaz za naredne godine (počevši od 6. srpnja 2022. godine) u sigurnosnim značajkama koje su obvezne za motorna vozila i njihove prikolice (Connected Automated Driving, 2023). Zapravo uvodi niz obaveznih naprednih sustava pomoći vozaču za poboljšanje sigurnosti na cesti i njome se također uspostavlja pravni okvir za odobravanje vozila bez vozača i automatiziranih vozila u EU. Od 6. srpnja 2022. godine nove sigurnosne značajke u vozilima su obavezni napredni sustavi pomoći vozaču. Za sva cestovna vozila (tj. automobile, kombije, kamione i autobuse) to uključuje inteligentnu pomoć pri brzini, prikazivanje vožnje unatrag s kamerom ili senzorima, upozorenje na pozornost vozača u slučaju pospanosti ili rastresenosti, snimači podataka o događajima, kibernetička sigurnost kao i signal za zaustavljanje u slučaju nužde. Za automobile i kombije uključuje dodatne značajke kao što su sustavi za održavanje trake i automatsko kočenje. Za autobuse i kamione uključuje tehnologije za bolje prepoznavanje mogućih mrtvih kutova, upozorenja za sprječavanje sudara s pješacima ili biciklistima i sustavi za nadzor tlaka u gumama. Pravila se primjenjuju na nove tipove vozila odmah, a na sva nova vozila od 7. srpnja 2024. godine (European Commission, bez dat.). Nova pravila uskladit će zakonodavstvo EU-a s novim pravilima na razini UN-a o automatizaciji razine 3 i usvojiti novo tehničko zakonodavstvo EU-a za vozila u potpunosti bez vozača, prva međunarodna pravila te vrste. Komisija očekuje da će pravila pomoći u povećanju povjerenja javnosti, poticanju inovacija i poboljšanju konkurentnosti europske automobilske industrije (EU Urban Mobility Observatory, 2022).

Daljnje mjere koje će se postupno uvoditi između srpnja 2024. do srpnja 2029. godine su sljedeće. Za sva cestovna vozila su to napredno upozorenje o smetnjama vozača te sigurne i dugotrajnije performanse gume. Za automobile i kombije sigurnosno staklo, a za autobuse i kamione su to snimači podataka događaja i poboljšana izravna vidljivost kako bi se bolje vidjeli biciklisti i pješaci. Uredba o općoj sigurnosti postavlja pravni okvir za autonomne automobile bez vozača u EU. Komisija će do ljeta usvojiti niz tehničkih pravila kako bi osigurala da su takva vozila sigurna i tehnološki dovoljno zrela prije nego što se stave na tržište. Ključne karakteristike automatiziranih vozila odnose se na to da je vozač prisutan, automatizirani način vožnje bio je ograničen do 60 km/h na autocestama, od siječnja 2023. godine do 130 km/h, da nema ograničenja u veličini serije vozila i na mjere kibernetičke sigurnosti. Ključne karakteristike potpuno samostalnih vozila bez vozača s druge strane, odnose se na to da vozač nije prisutan, automatizirana vožnja je dopuštena u određenim područjima, ograničenje veličine serije vozila je na najviše 1.500 vozila po modelu godišnje, a pregled ograničenja će biti određen do srpnja 2024. godine. Te karakteristike su dopuštene od rujna 2022. godine. Što se tiče tehničkih pravila kod obje vrste vozila (automatizirana vozila i samostalna vozila bez vozača), ona će regulirati zrelost tehnologije, snimanje podataka i mjere kibernetičke sigurnosti. Zasebno gledajući, kod automatiziranih vozila će regulirati sposobnost upravljanja

automatiziranom vožnjom na autocestama (držanje trake i promjena trake), praćenje sigurnosti na terenu i interakciju s vozačem. A kod potpuno samostalnih vozila bez vozača, regulirat će sposobnost upravljanja automatiziranom vožnjom u određenim područjima, napredno praćenje sigurnosti na terenu, interakciju s putnicima i sudionicima u prometu, operater za daljinske intervencije i novu mogućnost dizajna vozila (bez vozačkog sjedala) (European Commission, bez dat.).

Komisija je usvojila tehničko zakonodavstvo za vozila u potpunosti bez vozača (automatizacija razine 4), prva međunarodna pravila te vrste. Tehničkim pravilima uspostavlja se sveobuhvatna procjena sigurnosti i zrelosti potpuno automatiziranih vozila prije nego što odu na tržište EU-a. Pravila će pokrivati postupke testiranja, zahtjeve kibernetičke sigurnosti, pravila za snimanje podataka, kao i zahtjeve za praćenje sigurnosnih performansi i izvješćivanje o incidentima za proizvođače vozila u potpunosti bez vozača. Za automatizirana vozila koja zamjenjuju vozača na autocestama (automatizacija razine 3), zakonodavstvo EU usklađeno je s Ujedinjenim narodima (engl. *United Nations* – UN), pozivajući se na nova pravila razine UN-a o automatizaciji razine 3 (European Commission, bez dat.). Nova prekretnica u mobilnosti postignuta je usvajanjem prijedloga za proširenje automatizirane vožnje u određenim prometnim okruženjima sa sadašnjeg ograničenja od 60 km/h na do 130 km/h. Izmjena Uredbe UN-a br. 157 koju je usvojio Svjetski forum za usklađivanje propisa o vozilima proširuje maksimalnu brzinu za ADS za osobne automobile i laka teretna vozila do 130 km/h na autocestama i dopušta automatiziranu traku promjene. Stupilo je na snagu u siječnju 2023. godine u onim ugovornim strankama koje su ga odlučile primjenjivati. Amandman koji je izradila GRVA temelji se na iskustvu u raznim zemljama nakon usvajanja Uredbe UN-a o sustavima za ALKS, prve obvezujuće međunarodne uredbe o tzv. automatizaciji vozila razine 3, u lipnju 2020. godine. Ovaj razvoj vođen je okvirom UNECE-a o automatiziranim/autonomnim vozilima, koji sigurnost stavlja u središte vodećeg regulatornog rada UN-a u ovom strateškom području za budućnost mobilnosti. Ovi se sustavi mogu aktivirati samo pod određenim uvjetima na cestama na kojima je zabranjen promet za pješake i bicikliste i koje su prema projektu opremljene fizičkim odvajanjem koje dijeli promet koji se kreće u suprotnim smjerovima. Proširene odredbe se odnose na to da uredba utvrđuje jasne zahtjeve koji se temelje na performansama kojih se moraju pridržavati proizvođači automobila prije nego što se opremljena vozila mogu prodavati u zemljama u kojima je Uredba obavezna. Uključuje odredbe koje uređuju homologaciju tipa, tehničke zahtjeve, reviziju i izvješćivanje te testiranje na ispitnim stazama i u stvarnim uvjetima. Nove funkcionalnosti također će morati biti u skladu sa strogim zahtjevima za kibernetičku sigurnost i ažuriranje softvera navedenima u relevantnim UN-ovim propisima. Izmjena propisuje obvezu usklađenosti sustava automatizirane vožnje s lokalnim prometnim pravilima. Također uključuje odredbe kojima se osigurava ugodna vožnja i ograničavaju prometne gužve. Sustav za pohranu podataka za

automatiziranu vožnju (engl. *Data Storage System for Automated Driving – DSSAD*), kao crna kutija koja bilježi, između ostalih informacija, kada je sustav automatizirane vožnje aktiviran, morat će također bilježiti promjene trake koje pokreće sustav (UNECE, 2022). Kod sigurnosti vozila i automatiziranih/povezanih vozila, eCall je automatski sustav hitnih poziva za motorna vozila. Dramatično skraćuje vrijeme potrebno da hitna služba stigne. Od 31. ožujka 2018. godine pa nadalje, proizvođači automobila moraju ugraditi tehnologiju u sve nove modele automobila i kombija (European Commission, bez dat.).

Godina 2022. označava veliki korak prema automatiziranoj vožnji u Europskoj uniji. Stupanjem na snagu 5. kolovoza 2022. godine, Uredba (EU) 2022/1426 utvrđuje pravila za primjenu Uredbe (EU) 2019/2144 Europskog parlamenta i Vijeća u pogledu jedinstvenih postupaka i tehničkih specifikacija za homologaciju tipa ADS-a potpuno automatiziranih vozila. Dana 26. kolovoza 2022. godine Europska komisija objavila je skup pravila za koje kaže da ADS moraju ispunjavati kako bi bili odobreni. Uredba je usredotočena na potrebu da se osigura ispunjenje zahtjeva za performansama i dokazana sigurnost sustava automatizirane vožnje prije nego što se mogu odobriti. U tu svrhu Komisija smatra nužnim uvesti mjere usmjerene na povećanje sigurnosti sustava automatizirane vožnje te stroge parametre u pogledu njihove proizvodnje. Uredba uključuje nekoliko definicija važnih pojmova koji se odnose na automatizirana vozila. Takve definicije donose jasnoću ovoj tehnologiji. Osim toga, u uredbu je uključen niz dodataka koji idu od europskog modela za odobravanje autonomnih vozila do zahtjeva za performanse. Među zahtjevima za performanse ističe se potreba za poštivanjem prometnih propisa države u kojoj su sustavi postavljeni. Propisi također obuhvaćaju ograničenja brzine, pravilan razmak između vozila te prioritet zaštite ljudskih života. Nadalje, ADS bi trebao moći detektirati objekte i incidente koji bi se mogli pojaviti kao što su drugi sudionici u prometu koji prelaze cestu, nadolazeća vozila hitne pomoći, radovi na cesti, nesreće, prepreke, nepovoljni meteorološki uvjeti i slično. Osim što može odgovoriti na rizike koje bilo koja od ovih situacija može predstavljati, minimiziranje rizika za sigurnost uključenih osoba predstavlja još jedan kritičan zahtjev ADS-a. Između ostalog, jedan od priloga uključuje procjenu usklađenosti ADS-a na temelju parametara kao što su prometni scenariji, sigurnosne specifikacije sustava, rezultati testiranja proizvođača, načela korištena za procjenu vjerodostojnosti. Ova uredba dolazi u vrijeme kada se industrija utrkuje u izradi potpuno autonomnih vozila. Međutim, bilo je izvještaja o slučajevima neispravnog rada sustava autonomnih automobila, a sigurnost tih sustava je dovedena u pitanje, što je pojačalo potrebu za jasnim pravilima za ovo područje (Team AI regulation, 2022). Konačno, u lipnju 2022. godine, usvojena je Uredba (EU) 2022/2236 u pogledu tehničkih zahtjeva za vozila proizvedena u neograničenim serijama, vozila proizvedena u malim serijama, potpuno automatizirana vozila proizvedena u malim serijama i vozila za posebne namjene te u pogledu ažuriranja softvera. Ova Uredba otvara vrata homologaciji, u ograničenim serijama, potpuno

automatiziranih vozila, sa ili bez sjedala za ljudskog vozača. Važnost ove uredbe je u tome što po prvi put uvodi prilagođene tehničke zahtjeve za sustave koji nisu sustavi automatizirane vožnje, kao što su pasivna sigurnost, emisije, opća sigurnost i drugi (Connected Automated Driving, 2023).

Posebna se pozornost posvećuje razvoju kibernetičke sigurnosti i OTA (engl. *Over-The-Air*) ažuriranja jer su te tehnologije usko povezane s automatiziranom vožnjom (Connected Automated Driving, 2023). OTA ažuriranja pružaju rješenje bežičnim ažuriranjem firmvera i softvera s pomoću mobilne mreže, pristupnika (*OTA Manager*) unutar automobila i prosljeđivanjem na odgovarajuće elektroničke upravljačke jedinice prisutne u svim modernim vozilima. Implementacijom OTA ažuriranja, vozila mogu biti u tijeku s ispravcima grešaka, sigurnosnim ažuriranjima i novim iteracijama, osiguravajući ugodno i sigurno iskustvo vožnje (eInfochips, 2023). Uz OTA ažuriranja, vozila mogu pristupiti najažurnijim kartama, prometnim podacima i poboljšanjima algoritama u stvarnom vremenu, osiguravajući da vozila donose sigurnije i informiranije odluke na cesti. Ova agilnost u odgovoru na izazove i promjene ne samo da poboljšava sigurnost i performanse, već i potiče povjerenje potrošača u tehnologiju autonomne vožnje i tvrtke koje stoje iza nje (Ramirez, 2023). Ranije spomenuta Opća sigurnosna uredba, uvela je obveznu primjenu propisa koji se odnose na kibernetičku sigurnost i ažuriranje softvera, odmah po usvajanju od strane UNECE i stupila na snagu u ožujku 2021. godine. UNECE je donio sljedeće regulacije koje se odnose na njih – UN Regulacija br. 155 o jedinstvenim odredbama o homologaciji vozila s obzirom na kibernetičku sigurnost i sustav upravljanja kibernetičkom sigurnošću i UN Regulacija br. 156 o jedinstvenim odredbama o homologaciji vozila s obzirom na ažuriranje softvera i sustav upravljanja ažuriranjem softvera. Regulacija u okviru privatnosti i zaštite podataka je Uredba (EU) 2016/679 Europskog parlamenta i Vijeća od 27. travnja 2016. godine o zaštiti fizičkih osoba u vezi s obradom osobnih podataka i slobodnom kretanju takvih podataka (Opća uredba o zaštiti podataka). U okviru implementacije ITS-a (engl. *Intelligent Transport Systems*) su Direktiva 2010/40/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 7. srpnja 2010. godine o okviru za uvođenje inteligentnih prometnih sustava u području cestovnog prometa i za sučelja s drugim načinima prijevoza i 2017/2380 Odluka o izmjeni Direktive 2010/40/EU (Connected Automated Driving, 2023).

3.4.3. Regulacije Sjedinjenih Američkih Država za autonomna vozila

U Sjedinjenim Američkim Državama propisi za autonomna vozila prvenstveno se razvijaju na državnoj i saveznoj razini. Iako ne postoji sveobuhvatni savezni zakon, USDOT je izdao smjernice i politike za podršku razvoju i uvođenju autonomnih vozila. NHTSA je predložila sigurnosne standarde i zatražila mišljenje javnosti o sigurnosnim principima automatiziranog sustava vožnje. Nadalje, nekoliko je država, uključujući Kaliforniju i Nevadu, donijelo zakone kojima se odobrava testiranje i rad autonomnih vozila na javnim cestama

(Martret, 2023). Američki ministar prometa Pete Buttigieg izjavio je 16. ožujka 2022. godine da će „savezna politika o autonomnim vozilima doživjeti značajan razvoj u narednim godinama“ (Bellon, 2022). Nadležne organizacije su Ministarstvo prometa SAD-a, NHTSA i svaka pojedinačna savezna država (Connected Automated Driving, 2022).

U rujnu 2016. godine su NHTSA i Ministarstvo prometa SAD-a izdali „Saveznu politiku o automatiziranim vozilima“ (NHTSA, bez dat.), koja predstavlja značajan korak u razvoju federalnog regulatornog okvira za usmjeravanje razvoja tehnologija automatiziranih vozila (Perkins Coie, 2016). USDOT i NHTSA analizirali su komentare Federalnog registra (NHTSA-2016-0090), postupke javnih sastanaka i druge rasprave dionika, nedavna saslušanja u Kongresu i državne aktivnosti te su ovu analizu upotrijebili kao temelj za poboljšanja i dorade za razvoj novih NHTSA-inih dobrovoljnih smjernica – „Automatizirani sustavi vožnje 2.0: Vizija za sigurnost“ (engl. *Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety*). Nove su smjernice jasnije, jednostavnije, manje opterećujuće i sadrže dodatne, korisnije informacije za države. Duljina ovih smjernica značajno je skraćena u odnosu na „Saveznu politiku o automatiziranim vozilima“ iz 2016. godine i usredotočena je na dva odjeljka – Odjeljak I: „Dobrovoljne smjernice za automatizirane sustave vožnje“ i Odjeljak II: „Tehnička pomoć državam, najbolje prakse za zakonodavna tijela u vezi s automatiziranim sustavima vožnje“ (NHTSA, bez dat.). Ministarstvo prometa objavilo je 4. listopada 2018. godine nove savezne smjernice za automatizirana vozila – „Automatizirana vozila 3.0: Priprema za budućnost prometa 3.0“ (engl. *Preparing for the Future of Transportation: Automated Vehicles 3.0*). Ovo se nadovezuje na USDOT-ov 2.0 i pruža smjernice za države koje trebaju razmotriti u vezi s obukom i licenciranjem probnih vozača. Također nudi smjernice za subjekte koji testiraju da razmotre metode uključivanja vozača tijekom testiranja. Osim toga, NHTSA je najavila ADS pilot, preliminarni korak koji traži komentare javnosti o nacionalnom pilot istraživačkom programu koji će pomoći u sigurnom testiranju i postavljanju vozila opremljenih ADS-om. Ova suradnja mogla bi pomoći u istraživanju i razvoju sigurnosnih standarda za napredne sigurnosne tehnologije vozila. „Osiguravanje američkog vodstva u tehnologijama automatiziranih vozila: Automatizirana vozila 4.0“ (engl. *Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies: Automated Vehicles 4.0*), najavljenog na CES-u (engl. *Consumer Electronics Show*) u siječnju 2020. godine, nadograđuje se na AV 3.0 širenjem opsega na 38 relevantnih komponenti Vlade Sjedinjenih Država (engl. *United States Government – USG*) koje imaju izravne udjele u sigurnom razvoju i integraciji tehnologija autonomnih vozila. AV 4.0 strukturiran je oko tri ključna područja: USG AV principi, administrativni naponi koji podupiru rast i vodstvo AV tehnologije te USG aktivnosti i prilike za suradnju. Nastoji osigurati dosljedan pristup američke vlade tehnologijama autonomnih vozila i detaljno opisati ovlaštenja, istraživanja i ulaganja koja se provode u američkoj upravi kako bi Sjedinjene Države mogle

nastaviti voditi istraživanje, razvoj i integraciju tehnologije autonomnih vozila (NHTSA, bez dat.).

Godine 2020. NHTSA je pokrenula „Automatiziranu transparentnost vozila i angažman za sigurno testiranje“ (engl. *Automated Vehicle Transparency and Engagement for Safe Testing – AV TEST*). Kao dio inicijative AV TEST, države i tvrtke mogu NHTSA-i dobrovoljno dostaviti informacije o testiranju sustava automatizirane vožnje, a javnost može vidjeti informacije s pomoću NHTSA-inog interaktivnog alata. Godinu kasnije, NHTSA je izdala stalnu opću naredbu koja zahtijeva od proizvođača i operatera automatiziranih sustava za vožnju i vozila opremljenih naprednim sustavima pomoći vozaču SAE razine 2 da prijavljuju nesreće agenciji (NHTSA, bez dat.). Početkom 2021. godine, USDOT je razvio „Sveobuhvatni plan za automatizirana vozila“ kako bi unaprijedio rad Odjela na pridavanju prioriteta sigurnosti dok se priprema za budućnost prijevoza. Plan definira tri cilja za postizanje ove vizije za ADS (U.S. Department of Transportation, 2022): promicanje suradnje i transparentnosti – USDOT će promicati pristup jasnim i pouzdanim informacijama svojim partnerima i dionicima, uključujući javnost, u vezi s mogućnostima i ograničenjima ADS-a; moderniziranje regulatornog okruženja – USDOT će modernizirati propise kako bi uklonio nenamjerne i nepotrebne prepreke za inovativne dizajne vozila, značajke i operativne modele te će razviti okvire i alate usmjerene na sigurnost za procjenu sigurne izvedbe ADS tehnologija; priprema transportnog sustava – USDOT će provesti, u partnerstvu s dionicima, temeljna istraživanja i demonstracijske aktivnosti potrebne za sigurnu procjenu i integraciju ADS-a, dok će raditi na poboljšanju sigurnosti, učinkovitosti i pristupačnosti transportnog sustava. Namjera plana je odražavati temeljni fokus Ministarstva na sigurnost, učinkovitost transportnog sustava i mobilnost ljudi i robe (U.S. Department of Transportation, 2021). Kreatori državne politike iskorištavaju priliku autonomnih vozila i nastavljaju podržavati regulatorne okvire koji promiču sigurnost i inovacije (Farrah, 2024).

Od 2024. godine, 25 saveznih država ima zakone o autonomnim vozilima (Farrah, 2024). Države koje dopuštaju testiranje autonomnih vozila su Connecticut, District of Columbia, Hawaii, Illinois, Maine, Massachusetts, New Mexico, New York, Ohio, Vermont, Virginia i Washington. Međutim, ne govore svi državni zakoni o tome mora li postojati operater vozila unutar nepotpuno autonomnih automobila, moraju li imati licencu i treba li vozilo osiguranje od odgovornosti. Zakonodavstvo različitih država tretira vozila različitih razina automatizacije pod različitim uvjetima. Na primjer, u Arizoni, gdje je dopuštena upotreba automatiziranih vozila, vozilo s razinom 3 ili nižom od SAE razina automatizacije vožnje, zahtijeva ljudskog vozača s odgovarajućom dozvolom. Automobil na razini 4 ili 5 SAE razina automatizacije vožnje ne zahtijeva čovjeka u njemu jer ne zahtijeva od čovjeka da preuzme vožnju u bilo kojem trenutku. U drugim američkim državama, poput Floride, Georgije ili Sjeverne Dakote, razine 4 i 5 smatraju se potpuno autonomnima i ne zahtijevaju licenciranog

ljudskog vozača (Cikusa, 2023). Zakoni dopuštaju autonomnim vozilima – koja se obično nazivaju sustavom autonomne vožnje razine 4 ili 5 – da putuju državnim cestama. Oni također sadrže nekoliko elemenata za povećanje sigurnosti, kao što je zahtjev da vozilo mora moći postići ono što se zove „uvjet minimalnog rizika“ – tehnološka značajka koja omogućuje vozilu da se sigurno vozi izvan pogona u slučaju problema. Osim toga, državni statuti autonomnih vozila na odgovarajući način određuju da autonomno vozilo mora biti sposobno pridržavati se svih važećih državnih zakona o prometu i sigurnosti motornih vozila. Zakoni zahtijevaju da se dokaz o financijskoj odgovornosti za autonomna vozila mora podnijeti odgovarajućoj državnoj agenciji i da vozilo mora biti ispravno registrirano i upisano u državu (Farrah, 2024).

3.5. Utjecaj autonomnih vozila na sigurnost cestovnog prometa, ekonomiju i okoliš

Sigurnost na cestama ostaje globalna briga, s milijunima smrtnih slučajeva i ozljeda godišnje (Hillary, 2023). Otprilike dva milijuna ljudi je ozlijeđeno, a 37.000 ljudi pogine u više od šest milijuna automobilskih sudara godišnje u Sjedinjenim Američkim Državama, prema Nacionalnoj upravi za sigurnost prometa na cestama (Beck i sur., 2023). Ljudska pogreška, uključujući ometanu vožnju i prebrzu vožnju, značajno pridonosi nesrećama (Hillary, 2023). Nacionalna uprava za sigurnost u prometu Ministarstva prometa SAD-a izvijestila je da je 94 % prometnih nesreća uzrokovano ljudskom pogreškom (Lee, Gober & Reyna, 2024). Neadekvatna infrastruktura, kašnjenje hitnih odgovora i prometne gužve dodatno pogoršavaju problem (Hillary, 2023). Sigurnost je značajan faktor za usvajanje autonomnih vozila, a vozila imaju potencijal minimizirati ili eliminirati pogreške koje dovode do nesreća. Uklanjanjem ljudskih vozača, sklonih distrakcijama, umoru ili slaboj prosudbi, autonomna vozila mogu poboljšati sigurnost na cestama striktnim pridržavanjem prometnih pravila, održavanjem optimalne brzine i bržim reagiranjem na potencijalne opasnosti (Copperdigital, bez dat.). Svi proizvođači se sve više oslanjaju na tehnologiju kao ključni alat za poboljšanje sigurnosti na cestama za vozače i pješake (Telefonica, 2023). Vozilo može detektirati kretanje i status različitih sudionika u prometu putem senzora i unaprijed odrediti moguće situacije, što omogućuje autonomnom vozilu da izbjegne sudare korištenjem svog ADAS-a (Wang i sur., 2023). Autonomna vozila poboljšavaju protok prometa smanjujući gužve na cestama, koriste podatke u stvarnom vremenu za navigaciju i mogu međusobno komunicirati, što im omogućuje bolju koordinaciju i izbjegavanje sudara. To rezultira boljim protokom prometa i smanjuje vrijeme putovanja (Lee, Gober & Reyna, 2024).

Trenutna istraživanja autonomnih vozila primarno su usredotočena na ponude mobilnosti kao usluge (engl. *mobility-as-a-service* – MaaS). To su vozila bez vozača, slične

Uberu, koje se mogu dobiti pritiskom na gumb. Bili bi puno isplativiji jer se vozaču ne treba isplaćivati plaća. Prevladavanje takvih opcija moglo bi rezultirati opadanjem vlasništva privatnih automobila, stvarajući učinak na sve, od cijena goriva do osiguranja, pa čak i strukture državnih prihoda. Ukupna globalna ulaganja u tehnologiju autonomnih vozila već premašuju 200 milijardi dolara, a ta će se brojka ubrzano povećavati kako konkurencija bude rasla. Istodobno, zemlje diljem svijeta ulažu u infrastrukturu kako bi olakšale proizvodnju i usvajanje autonomnih vozila. Svaki utjecaj na logističku industriju stvorio bi domino efekt koji mijenja maloprodaju, trgovinu i na kraju svaki aspekt ljudskih života (Yeruva, 2022). Prema revidiranom izvješću NHTSA-e (2023) ukupni ekonomski trošak sudara motornih vozila u 2019. godini procjenjuje se na 339,8 milijardi dolara. Od ovog ukupnog iznosa, medicinski troškovi bili su odgovorni za 30,9 milijardi dolara, gubici štete na imovini za 115,3 milijarde dolara, izgubljena produktivnost (tržišne i kućanstva) za 106,3 milijarde dolara i utjecaji gužvi za 36 milijardi dolara. Svi ostali troškovi povezani s nesrećom iznosili su 51,4 milijarde dolara. Otprilike 9 % svih troškova nesreća motornih vozila plaća se iz javnih prihoda (NHTSA, 2023). Očekuje se da će se troškovi sudara smanjiti zbog poboljšanih funkcija autonomnih vozila, kao što bi vozila mogla smanjiti i ekonomski teret prometnih gužvi i prometnih nesreća, ali bi mogli pridonijeti nadolazećoj krizi nezaposlenosti i uzrokovati ekonomsku nestabilnost (European Commission, 2018). Dok autonomna vozila mogu imati veliku ekonomsku korist, ona će također utjecati na tržište rada, i dobro i loše. Upjohn institut za istraživanje zapošljavanja istražio je mogući utjecaj koji će autonomna vozila imati na tržišta rada. Istraživanje je pokazalo da bi autonomna vozila izravno eliminirala bilo gdje od 1,3 do 2,3 milijuna radnih mjesta u sljedećih 30 godina. Predviđaju da neće biti značajnijih gubitaka radnih mjesta do kasnih 2030-ih godina i ulaskom u 2050-e godine. Time bi se godišnja stopa nezaposlenosti povećala za oko 0,1 %. Vozači kamiona koji većinu svoje vožnje voze autocestama bit će najviše izloženi riziku jer su ove vrste cesta najlakše za svladavanje kod autonomnih sustava. Ove će se procjene promijeniti ako za razvoj autonomne tehnologije bude potrebno više vremena od očekivanog ili ako poslodavci odluče zadržati velik dio svog trenutnog osoblja i prekvalificirati ga negdje drugdje (Y mobility, 2023).

Utjecaj autonomnih vozila na okoliš još su jedna pokretačka snaga njihovog uspona. Uz napredak u električnim i hibridnim tehnologijama, autonomna vozila mogu pridonijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i onečišćenja zraka (Copperdigital, bez dat.) zato što rade mnogo učinkovitije od konvencionalnih vozila (Igini, 2022). Potencijalni prijelaz na takva vozila može smanjiti prometne gužve optimiziranjem ruta, što dovodi do održivijeg prometnog ekosustava čime imaju potencijal pridonijeti zelenijoj i održivijoj budućnosti. Ovaj prijelaz na čišći prijevoz doprinosi ublažavanju klimatskih promjena i poboljšanju kvalitete zraka (Copperdigital, bez dat.). Prema procjenama Ministarstva energetike SAD-a, ovaj stil vožnje koji stručnjaci u industriji nazivaju automatiziranom „eko-vožnjom“, može smanjiti potrošnju

goriva za 15 do 20 % (Igini, 2022). Ali dok SAD ne razvije sustav električne energije koji je 100 % bez ugljika, čak će i električni automobili proizvoditi neke emisije od proizvodnje električne energije. I sva putovanja automobilom uzrokuju druge štetne utjecaje, poput onečišćenja vode i zraka zbog istrošenosti kočnica i guma (GreenBiz, 2022).

4. Analiza utjecaja autonomnih vozila na logistiku i transport

Pojava autonomnih vozila označava značajnu transformaciju i utjecaj u području logistike i transporta. Primjena autonomnih vozila ima potencijal da revolucionira način prijevoza robe, nudeći povećanu učinkovitost, sigurnost i održivost (Frank i Mohamed, 2024), no ipak njihova primjena rezultira gubitkom radnih mjesta u logističkoj i transportnoj industriji (Nurgaliev i Eskander, 2023). Porast autonomnih vozila u logistici i transportu potaknut je tehnološkim napretkom, poboljšanjima sigurnosti, povećanjem učinkovitosti, uštedama troškova, rješenjima dostave, ekološkim pitanjima i željom za konkurentskom prednošću. Ti čimbenici, u kombinaciji s tržišnom potražnjom i potencijalom transformacije industrije, potaknuli su razvoj i usvajanje autonomnih vozila posljednjih godina (Copperdigital, bez dat.). Povećana učinkovitost ima potencijal za pojednostavljenje opskrbnih lanaca i smanjenje ukupnih troškova transporta (Frank i Mohamed, 2024). Operacije lanca opskrbe mogle bi imati širok raspon potencijalnih učinaka, utječući na sve, od poslova do sigurnosti i cijena. Logističke tvrtke, koje već pate od nedostatka radne snage, mogle bi usvojiti AV tehnologiju brže nego što se misli (Yeruva, 2022). S naprednim sensorima i mogućnostima obrade podataka u stvarnom vremenu, vozila mogu upravljati složenim okruženjima učinkovitije od ljudskih vozača, smanjujući rizike i poboljšavajući sigurnost na cesti (Frank i Mohamed, 2024). U današnje vrijeme, industrije se moraju nositi sa sve konkurentnijim okruženjem. U tom smislu, optimizacija operativnog procesa za povećanje učinkovitosti je ključna. Industrijski sustavi su trenutno skloni svim potencijalnim sredstvima automatizacije radi poboljšane točnosti i superiornog upravljanja s vremenom (Abosuliman i Almagrabi, 2021).

4.1. Primjeri primjene autonomnih vozila u sektoru logistike i transporta

U području logistike i transporta, učinkovitost i inovativnost su najvažniji. Od ranih eksperimenata do primjena u stvarnom svijetu, razvoj autonomnih vozila vođen je napretkom u AI, strojnom učenju i senzorskoj tehnologiji (Mutabazi, 2023). Postoje jaki argumenti za sugeriranje da će logistička industrija usvojiti autonomna vozila puno brže od većine drugih industrija (DHL Trend Research, bez dat.). U ovom potpoglavlju će se spomenuti vozila koja doprinose ostvarivanju velikog potencijala i utjecaja na spomenuta područja.

4.1.1. Primjena autonomnih kamiona

Prema FreightWaves, tvrtki za analizu industrije, kamionski prijevoz čini 43 % ukupnih logističkih troškova na globalnoj razini s ukupnom vrijednošću od 4,1 trilijuna dolara, a predviđa se da će taj iznos dosegnuti 5,5 trilijuna dolara do 2027. godine (McGillis, 2023). Krajem 2021. godine, TuSimple je izveo prvu vožnju polukamiona potpuno bez vozača na otvorenim javnim cestama u svijetu, pri čemu je vozilo započelo svoju 80-minutnu vožnju s velike željezničke stanice u Tucsonu, Arizona. Kamion klase 8, najteža klasa, putovao je više od 80 milja (~129 km) površinskim cestama i autocestama noću kako bi sigurno stigao do distribucijskog centra u metro području Phoenixa (Choi, 2023). TuSimple je globalna tvrtka za tehnologiju autonomne vožnje sa sjedištem u San Diegu, Kalifornija. Osnovana 2015. godine, razvija komercijalno potpuno autonomno (SAE razina 4) rješenje za vožnju teških kamiona na dugim relacijama (PR Newswire, 2023). Kroz razvoj najboljeg samovozećeg sustava u industriji, pruža pouzdan autonomni kapacitet kao uslugu, istovremeno poboljšavajući sigurnost, smanjujući potrošnju goriva i minimalizirajući utjecaj teških kamiona na okoliš što predstavlja vrhunska logistička rješenja (TuSimple, bez dat.). Uz upotrebu LiDAR-a, RADAR-a i najvažnije, HD kameri, kamion ima pregled okoline od 360° (TuSimple, bez dat.). Tvrtka također nastavlja usavršavati svoja vlasnička softverska rješenja. Na primjer, tvrtkina tehnologija mapiranja, *CyberMap*, nastavlja s poboljšanjima koja bi mogla dovesti do dodatne sigurnosti na cestama. Ranije u 2021. godini, objavljeno je da su kamioni TuSimple zabilježili više od deset milijuna kumulativnih milja (~16.100.000 km) kroz testiranje, istraživanje i dostavu tereta, što predstavlja još jedna prekretnicu u industriji (PR Newswire, 2023). Cilj tvrtke je transformirati globalnu industriju kamionskog tereta vrijednu četiri trilijuna dolara kroz vodeću tehnologiju umjetne inteligencije tvrtke, koja kamionima omogućuje sigurnu autonomnu vožnju, gotovo neprekidan rad i smanjenje potrošnje goriva za 10 %+ u odnosu na kamione na ručni pogon (PR Newswire, 2023).

Prema zadnjem izvješću TuSimple (2021), navodi se kako upravljaju s približno 100 autonomnih polukamiona razine 4 s približno 75 u SAD-u i 25 u Kini. Započeli su vožnje bez vozača (engl. *Driver Out*) u Arizoni na više od 80 milja (~129 kilometara) teretne rute, pokrivajući površinske ulice, rampe, izlaze i autoceste. Vožnje se provode na stvarnoj teretnoj ruti između željezničke stanice u Tucsonu, Arizona i distribucijski centar velikog volumena u metro području Phoenixa. Vozila stupaju u interakciju s prometom, mijenjaju trake pri brzinama na autocesti, kreću se raskrižjima i vode prometnim signalima te upravljaju složenim situacijama na cesti kao što su vozila u traci za nuždu. Osim toga, autonomnim polukamionima razine 4 upravlja se sa sigurnosnim vozačem i sigurnosnim inženjerom u kabini (engl. *Driver in*), kako u operacijama testiranja tako i u komercijalnim operacijama gdje prevoze plaćeni teret za kupce. Rad uz sigurnosnog vozača i sigurnosnog inženjera omogućuje kontinuirano

poboljšanje tehnologije razine 4. Cilj je smanjiti rad vozača na sve veći postotak njihovog ukupnog poslovanja (TuSimple, 2021). Uz to, značajno je spomenuti suradnju između UPS-a i TuSimple. UPS zapravo koristi TuSimple autonomne kamione za prijevoz paketa na ruti dugoj 115 milja (~185 km) između Phoenixa i Tucsona u Arizoni. Ova implementacija je pokazala potencijal za autonomna vozila da poboljšaju učinkovitost i smanje troškove prijevoza u logistici na dugim relacijama (Frank i Mohamed, 2024).

U istraživanju provedenom od strane Kalifornijskog Sveučilišta San Diego (engl. *University of California San Diego – UCSD*) 2019. godine, virtualni vozač (autonomni kamion) pokazao se 10 % učinkovitijim u potrošnji goriva od kamiona kojima se upravlja ručno (TuSimple, 2021). Autonomni kamioni TuSimple razine 4 bili su opremljeni crnom kutijom koja je prikupljala podatke o vožnji tijekom razdoblja od šest mjeseci, što je uključivalo 122 autonomne misije s ukupno blizu 6.700 milja (~10.800 km). Na temelju dostupnih podataka, istraživači su koristili Virginia Tech model sveobuhvatne potrošnje goriva temeljene na snazi (engl. *Virginia Tech Comprehensive Power-based Fuel Consumption model*) za procjenu potrošnje goriva kao funkcije brzine, lokacije, ubrzanja i kočenja. Kamioni na ručni pogon također su bili opremljeni istom tehnologijom crne kutije, što je omogućilo istraživačima da usporede razliku u potrošnji goriva između autonomnih i ručnih teških kamiona. Potrošnja goriva je zatim analizirana u različitim rasponima brzina uključujući 0-50 km/h, 50-65 km/h, 65-80 km/h, 80-95 km/h, 95+ km/h, što je pokazalo da potrošnja goriva između autonomnih i ručno upravljanih vozila pri nižim brzinama ima najznačajniju uštedu goriva zbog složene vožnje koja se odvija pri nižim brzinama (TuSimple, 2019). Tijekom posljednje dvije i pol godine, TuSimple je prošao više od 200.000 milja (~322.000 km) autonomno prevozeći teret za UPS-ov odjel za zračni prijevoz tereta u Sjevernoj Americi. Tijekom ovih milja (kilometara), TuSimple autonomni kamioni ostvarili su do 10 % uštede goriva (TuSimple, bez dat.) na dugim rutama operirajući brzinom od 55 do 68 mph (od 89 do 109 km/h). Ove uštede pokazuju značajan pozitivan utjecaj na okoliš koji autonomni kamionski prijevoz može imati na transportnu industriju. Budući da je smanjenje emisije ugljika dio misije TuSimple, nastavit će se davati prioritet učenju o tome kako njihovi kamioni mogu pozitivno utjecati na okoliš i pružiti dodatne prednosti autonomne tehnologije. Statistički podaci ističu i partnerstvo TuSimple sa *Community Food Bank* Južne Arizone. TuSimple je prvi put počeo surađivati s *Community Food Bank* Južne Arizone 2018. godine. Do danas su uspješno isporučili više od 3,5 milijuna funti hrane, ili 2,7 milijuna obroka, zajednicama u potrebi. Ovo partnerstvo predstavlja neke od prednosti autonomnih kamiona jer poboljšavaju kvalitetu života u zajednicama (TuSimple, 2021).

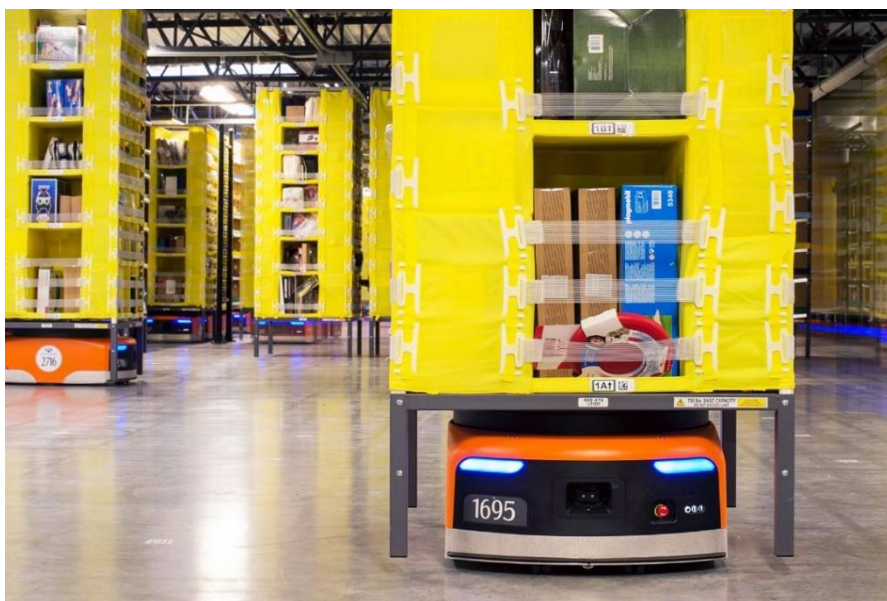


Slika 2. TuSimple kamion u Tucsonu, Arizona (Izvor: WSIU, 2022)

4.1.2. Primjena autonomnih vozila u skladištima

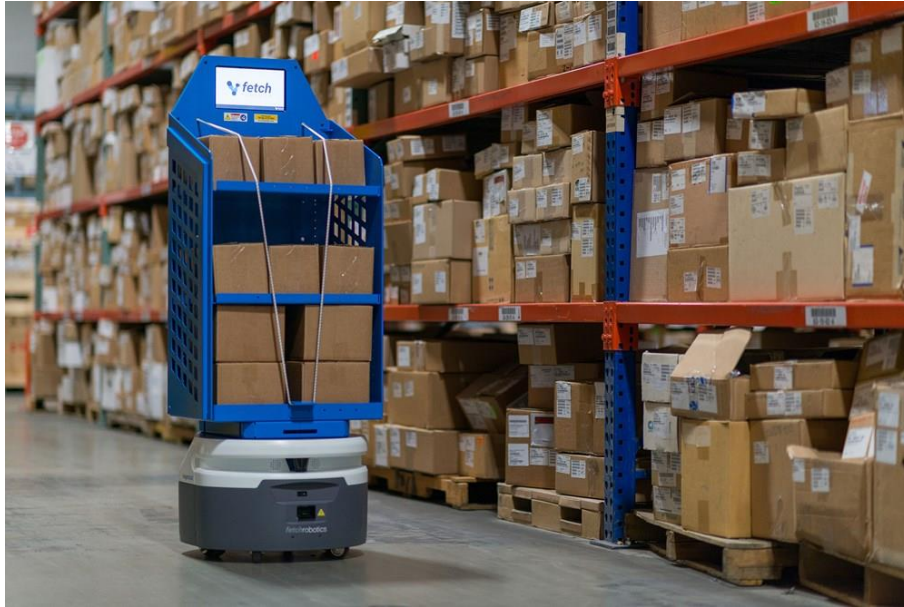
Korištenje autonomnih vozila u skladišnim operacijama, upravljanju kamionima i mobilnim dostavnim čvorištima revolucionira logističku i transportnu industriju (SpendEdge, 2024). Jedan od primjera su Amazon-ovi autonomni roboti pod nazivom Kiva Robots. Godine 2012. Amazon je kupio Kiva Systems za 775 milijuna dolara što je započelo njihov put prema automatizaciji (Laber, Thamma i Kirby, 2020). Ugovor je Amazonu osigurao vojsku robota izrađenih po narudžbi da se kreću kroz skladišta, ispunjavajući zahtjeve za pošiljke nevjerojatnom brzinom. Do vremena kada je Amazon u potpunosti implementirao upotrebu robota Kiva 2014. godine, tvrtka je skratila takozvani ciklus *click to ship* sa 60 do 75 minuta koliko je ljudima potrebno, na samo 15 minuta, prema bilješci Deutsche Bank objavljenoj te godine. To je također tvrtki uštedjelo 20 % na operativnim troškovima (Putz, 2018). Prema statističkom podatku iz 2019. godine, bilježilo se preko 100.000 ovih robota koji rade u Amazon-ovim globalnim centrima za isporuku (Amazon Staff, 2019). Putuju brzinom od 5,5 km/h i mogu podići do 340 kilograma (Statista, 2017). Ovi roboti su vrlo napredni, mogu pokupiti čitave police proizvoda i dostaviti ih na stanice za pakiranje koje se nalaze u određenim dijelovima objekta ili skladišta. Temelje se na algoritmima koji mogu identificirati najpopularnije artikle i koja im je najbliža točka opskrbe. Također imaju senzore koji mogu spriječiti sudare na putu (Brown, 2022). Tim inženjera otišao je korak dalje i 2017. godine

dizajnirao robota koji sadrži 50 % manje komponenti, oslobađajući značajan inventar prostora. Prikladno nazvan Hercules ili skraćeno H Drive, robot sljedeće generacije, može podići 567 kg, što je više 227 kilograma više od svog prethodnika (Amazon Staff, 2019). Par godina kasnije, krajem 2023. godine, Amazon je postavio novog robota koji će preuzeti iznimno teške poslove u centrima za isporuku. Nova tehnologija nazvana Titan je mobilni robot, što znači da će pomoći u prenošenju proizvoda preko centara za isporuku, podržavajući sigurnost i učinkovitost u operacijama. Titan se temelji na više od desetljeća inovacija u mobilnoj robotici u Amazonu i može podići do dva puta veću težinu od Herculesa, najraširenijeg robota u tvrtkinim operacijama. Amazonov centar za isporuku SAT1 u San Antoniju, Teksas, prvi je koji je primijenio Titan u svojim operacijama. Postrojenje je pokrenuto 2013. godine za obradu većih, glomaznijih predmeta, a korištenje ove nove tehnologije pomoći će u modernizaciji mjesta, podržavajući sigurnost i učinkovitost na radnom mjestu. Titan integrira nekoliko tehnologija iz prethodnih mobilnih robota, uključujući rješenje za upravljanje baterijom i punjenjem iz Herculesa, te računalni vid, detekciju prepreka i sustave kontrole korisnika iz mobilnog robota Xanthus. Titan također koristi hardverske komponente iz Proteusa za upravljanje svojim operativnim sustavom dok planira, izvršava i povezuje se s drugim tehnologijama unutar objekta. Takvim robotima stvara se sigurnije i ergonomičnije radno mjesto koje smanjuje ponavljajuće radnje, eliminira potrebu da zaposlenici hodaju na velike udaljenosti ili pomiču teške predmete i omogućuje zaposlenicima da se usredotoče na nove zadatke koji zahtijevaju nove vještine. Podaci tvrtke pokazuju da su stope incidenata koje se mogu zabilježiti i stope incidenata izgubljenog vremena bile 15 % odnosno 18 % niže na web lokacijama Amazon Roboticsa nego na nerobotskim web lokacijama 2022. godine (Jarrett, 2023).



Slika 3. Kiva Robotics Amazon (Izvor: Robotmag, bez dat.)

Primjer primjene je i tvrtka Fetch Robotics, osnovana 2014. godine sa sjedištem u San Joseu u Kaliforniji. Ona razvija autonomne mobilne robote (engl. *Autonomous Mobile Robots* – AMR) koji rade među ljudima na lokacijama kao što su skladišta, tvornice i distribucijski centri (Baker, 2020). Predstavljen u travnju 2015. godine, sustav Fetch Robotics sastoji se od mobilne baze (zvane Freight) i naprednog mobilnog manipulatora (zvane Fetch). Fetch and Freight koriste stanicu za punjenje za autonomne kontinuirane operacije, omogućujući robotima da se pune kada je to potrebno i zatim nastavljaju sa svojim zadacima. Osim toga, sustav uključuje prateći softver za podršku robotima i integraciju sa skladišnim okruženjem. Roboti obavljaju zadatke koji se ponavljaju kao što su dostava u skladište, odabir i pakiranje (Keay, 2016). Uključivanje Fetch Robotics u radne tijekove transporta materijala i logistike, poboljšava produktivnost i omogućuje radnicima u skladištu da se usredotoče na zadatke veće vrijednosti. Središnji distribucijski centar Wärrsilä u Nizozemskoj i DHL, vodeća svjetska logistička tvrtka, udružili su se kako bi testirali mobilne robote tvrtke Fetch Robotics. Cilj projekta bio je istražiti mogućnosti korištenja najnovijih tehnoloških inovacija u svakodnevnom skladišnom poslovanju i steći bolje razumijevanje dodane vrijednosti robotike u skladišnom okruženju te naučiti o sučelju čovjek-tehnologija između robota i zaposlenika. Mobilni robotski sustav pojednostavljuje rukovanje materijalom od polazišne do odredišne točke. Radnici mogu komunicirati s robotima putem zaslona osjetljivog na dodir i poslati ih na njihova putovanja pritiskom na gumb. U DHL-u je bila implementacija suradničkih robota među radnom snagom. Daljnjom automatizacijom nepotrebnih dijelova kao što je premještanje robe od točke A do točke B, zaposlenicima se može dati više isplativih odgovornosti i posla. Brzo postavljanje sustava i njihovo vrlo jednostavno održavanje, omogućava njihovim klijentima brze i fleksibilne tijekove rada, tako da radnik može vrlo jednostavno natovariti robota, pritisnuti gumb i poslati ga na odredište. Osim toga, sigurnost je na prvom mjestu kod radne snage, a budući da roboti kombiniraju podatke s više senzora kako bi dobili sliku svog okruženja, oni rade sigurno s ljudima i oko njih. Sustav je bio implementiran u samo nekoliko dana i nije trebalo instalirati dodatni hardver. Tako se može upravljati s više robota na jednoj karti što bazi daje vidljivost u stvarnom vremenu. Robotski sustav je već uštedio njihovim operaterima hodanje do 32 kilometra dnevno. Ono što je prilično impresivno je fleksibilnost rješenja i lakoća prilagodbe potrebama skladišta (Fetch Robotics, bez dat.). Fetch Robotics također ima svoj vlastiti operativni sustav pod nazivom FetchCore. Fetch je kreirao ovaj operativni sustav da bude što je moguće lakši za korištenje i fleksibilan, od pokretanja do rada. Dobili su bezbrojne sigurnosne certifikate, a svi roboti izrađeni su s brojnim zaštitnim značajkama, što ih čini iznimno sigurnima za suradnju sa skladišnim osobljem (Storage Solutions, bez dat.).



Slika 4. Fetch Robotics (Izvor: Storage Solutions, bez dat.)

4.1.3. Primjena autonomnih vozila u lukama – kontejnerski terminal

Automatizirani kontejnerski terminali već su u proizvodnoj uporabi više od dva desetljeća (Hämäläinen, Yli-Paunu i Peussa, bez dat.). Patrick Terminals – Brisbane AutoStrad bio je prvi terminal na svijetu koji je operirao s australskom dizajniranom Autostrad robotskom tehnologijom rukovanja kontejnerima. Terminal je otvoren u dvije faze – prva, uzvodni dio, otvorena je u prosincu 2005. godine, a druga, uključujući dio zgrada kojim dominira toranj, otvorena je u srpnju 2009. godine. Operativni model Autostrada omogućuje fleksibilne operacije prijema i isporuke i pouzdan, robustan operativni model (Patrick, bez dat.). Tvrtka, koja je u vlasništvu Asciana – najvećeg australskog nacionalnog operatera željezničkog teretnog prijevoza i lučkog tereta – uložila je više od 300 milijuna australskih dolara u svoj terminal u luci Brisbane (koja ima rivu od 900 metara) od 2005. godine (Kalamar, bez dat.). Patrick Terminals vodeći je operater kontejnerskog terminala u Australiji (Heavy Lift News, 2021) te je tijekom godina nastavio pružati visoke razine performansi dok je istovremeno postao jedan od najsigurnijih kontejnerskih terminala na svijetu (Hämäläinen, Yli-Paunu i Peussa, bez dat.). Tvrtka upravlja nekim od tehnološki najnaprednijih terminala u Australiji u četiri strateški smještene luke: Brisbane AutoStrad terminal, Sydney AutoStrad terminal, Melbourne terminal i Fremantle terminal u Zapadnoj Australiji (Kalmar, 2023). Odgovoran je za podizanje kontejnera na i s brodova koji izvoze i uvoze kroz Brisbane i osigurava da kontejneri završe na pravim kamionima i brodovima (Hanson, 2018). Prema podatku iz 2023. godine, terminal koristi postrojbu od 35 Kalmar AutoStrad za sav svoj horizontalni kontejnerski transport. Patrick Terminals je implementirao automatizirano rukovanje kamionima za svoju

postrojbu Kalmar AutoStrad, što znači da raskoračni prijevoznici sada autonomno postavljaju i preuzimaju kontejnere na cestovnim kamionima bez ručne intervencije. Automatizirano rukovanje kamionima omogućuje potpuno automatiziran protok kontejnera između dizalica na obali i kamiona, automatiziranjem završne faze kopnenih operacija (Kalmar, 2023). Može operirati 24 sata svih dana u tjednu u gotovo svim vremenskim uvjetima, osiguravajući nesmetan protok tereta i značajne uštede troškova. Prijelaz na automatizaciju može se izvesti brzo i uz niske troškove. AutoStrad koristi radarski sustav milimetarskih valova više nego GPS, što ih čini samostalnim i autonomnim u smislu navigacijskog integriteta i točnosti unutar dva cm. Slobodno se kreću po virtualno računalnoj generiranoj mreži težišnih točaka, koja se može primijeniti na većinu postojećih objekata terminala bez smetnji kopanja pločnika. Posao bez radnika smanjuje troškove u terminalu te su sati stroja minimizirani korištenjem automatskog isključivanja, što također smanjuje troškove vremena mirovanja na nulu. Budući da automatizirani rad ne zahtijeva noćno osvjtljenje, ušteda energije se na terminalu od 40 hektara može dodati do nekih 100 australskih dolara godišnje. Daju stvarnu fleksibilnost jer mogu pomicati teret okomito i vodoravno i slagati kontejnere u područjima za slaganje ili ih utovariti na ili izvan cestovnih vozila. Ova svestranost znači da mogu raditi do puno većeg stupnja neovisnosti od ostalih strojeva u terminalu, što donosi uštedu vremena i troškova (Kalmar, bez dat.). Terminali AutoStrad nude iznimno sigurno radno okruženje za osoblje terminala i vanjske vozače kamiona. Automatizirani i ručno vođeni promet uvijek su potpuno odvojeni jedan od drugog, a na terminalu se ne odvija mješoviti način rada. Hibridni AutoStrad trenutno je najprodavaniji model, a za budućnost gledaju na potpuno električne modele koji su dostupni s dvije različite tehnologije baterija. Baterija visoke energije nudi 240 minuta rada uz 45 minuta punjenja, dok baterija velike snage omogućuje 45 do 50 minuta rada uz vrijeme punjenja od samo pet do šest minuta. Kako elektrificirati i dekarbonizirati AutoStrad terminal, otkrili su da je projektiranje punjenja strojeva ključno razmatranje pa se tako odvija neprimjetno unutar radnih ciklusa opreme. Ova vrsta oportunitetnog punjenja integrirana je s raspoređivanjem i usmjeravanjem poslova, tako da se svako vrijeme mirovanja i prirodni prekidi između pomicanja kontejnera uvijek optimalno iskoriste za punjenje strojeva. U konačnici, Kalmar AutoStrad rješenje nudi baterije, pogon, kontrolu, punjenje i planiranje za dekarbonizirane operacije koje će pomoći terminalima da ostvare svoje ciljeve održivosti daleko u doglednoj budućnosti. Nijedna druga vrsta opreme ne može ponuditi ovu kombinaciju prednosti, a koncept je prikladan za kontejnerske terminale gotovo svih veličina, do najvećih mega terminala na svijetu (Kalmar, 2024).



Slika 5. Kalmar AutoStrad - Patrick Terminals u Australiji (Izvor: Heavy Lift News, 2020)

4.1.4. Primjena autonomnih vozila u željezničkom prometu

U regiji Pilbara, koja se nalazi u sjeverozapadnoj Australiji, postoji mnogo željezničkih linija željezne rude. Globalna rudarska tvrtka, Rio Tinto Limited upravlja postrojbom teških vlakova za željeznu rudaču 24 sata dnevno od svojih 16 rudnika do četiri lučka terminala s pogledom na Indijski ocean. Kako bi povećao svoje operativne kapacitete i smanjio vrijeme prijevoza, Rio Tinto je shvatio da je rad njegovih vlakova bez vozača način da to postigne. Tvrtka je uspostavila okvirni sporazum s Hitachi Rail STS S.p.A. (Yusuf, 2020). Hitachi Rail je tehničko vodstvo za AutoHaul, i osigurao je tehnologiju *onboard* i kontrolnog centra, opremu uz prugu, radio bazne stanice i softver sučelja za automatsko upravljanje vlakom za kontrolu lokomotive, sigurnost željezničkih prijelaza i praćenje lokacije (Railway Gazette International, 2022). Ovaj je projekt nazvan AutoHaul, a dvije su tvrtke blisko surađivale na njegovom razvoju nekoliko godina. Od završetka prve natovarene vožnje u srpnju 2018. godine, ovi su vlakovi sada sigurno prešli više od 11 milijuna kilometara autonomno. To je svjetski prva operacija teških vlakova bez vozača na velike udaljenosti. Rio Tinto Limited, vodeća globalna rudarska grupacija, upravlja autonomnom postrojbom od 221 teške lokomotive duž svoje pruge od 1.700 km, 24 sata dnevno vadeći željeznu rudaču iz rudnika na jugu i prevozeći je preko udaljene regije Pilbara do luka udaljenih 300 km s pogledom na Indijski ocean (Yusuf, 2020). U početku je usvajanje sustava AutoHaul bilo sporo, ali do vremena kada je tehnologija u potpunosti razvijena i kad su obavljani svi treninzi i angažmani, taj proces se dogodio vrlo brzo (National Rail Skill Hub, bez dat.). Tipična formacija vlaka uključuje trokraku dizel električnu lokomotivu i 240 vagona natovarenih sa 106 tona svaki vagon. Tipična duljina vlaka je 2,5 km, a ukupna

težina 28.000 tona. Maksimiziranje učinkovitosti prijevoza prvi je prioritet rada vlakova i vlakovi mogu krenuti nakon završetka utovara bez planiranog dijagrama rada vlaka. Cijeli rad vlaka daljinski nadzire tim kontrolora vlakova i održavatelja iz Operativnog centra Rio Tinta u Perthu udaljenom više od 1.500 km. Rad ovog autonomnog vlaka postiže se sustavom prijevoza teškog tereta, AutoHaul, razvijenim u suradnji između Rio Tinta i Hitachi Rail STS S.p.A. Lokomotive su opremljene tehnologijom AutoHaul – za svaku lokomotivu koja je na mreži, prati se „zdravstveno“ stanje lokomotive, alarmi i video zapisi (dogadjaji otkrivanja sudara, događaji prepreka na željezničkom prijelazu) (Yusuf, 2020). AutoHaul poboljšava sigurnost smanjenjem rizika na željezničkim prijelazima i svojim automatskim odgovorima na ograničenja brzine i alarme. Također eliminira potrebu za prijevozom vozača do i od vlaka usred putovanja čime se svake godine štedi gotovo 1,5 milijuna kilometara cestovnog putovanja što predstavlja sigurnosni rizik. Donosi produktivnost i koristi za okoliš korištenjem informacija o topografiji vlakova i željezničke mreže za izračun i isporuku sigurne, dosljedne strategije vožnje (Rio Tinto, bez dat.). Implementacija ovih lokomotiva bez vozača rezultirala je povećanjem produktivnosti i fleksibilnosti (CWG Project Services, bez dat.).



Slika 6. Rio Tinto autonomni vlak (Izvor: Pressman, 2019)

4.2. Budućnost autonomnih vozila u logistici i transportu

Budućnost autonomnih vozila u logistici i transportu je zanimljiva i puna potencijala. Kako se tehnologija nastavlja razvijati i poboljšavati, vjerojatno će se u nadolazećim godinama vidjeti široka primjena autonomnih vozila u ovim industrijama (Khan, 2023). *McKinsey Center for Future Mobility*, u partnerstvu s *The Autonomous*, provodio je dvogodišnje istraživanje

lidera u industriji autonomne vožnje koje je održano od lipnja do kolovoza 2023. godine. Istraživanje je pokazalo da se mnogo toga promijenilo u ovom dinamičnom sektoru u posljednje dvije godine: regionalna očekivanja se mijenjaju, rokovi za razvoj autonomnih vozila se produžuju, a potrebna ulaganja rastu. Ostali rezultati otkrivaju nove mogućnosti za proizvođače autonomnih vozila, kao što su raznolikija tržišta i tehnologije s maržama od 17 % ili više. Istraživanje je uključivalo 86 donositelja odluka iz cijeloga svijeta (40 iz Sjeverne Amerike, 37 iz Europske unije, tri iz Kine i šest iz drugih regija). Predstavljali su neke od najvećih svjetskih softverskih i automobilskih korporacija, kao i istaknute *startup*-ove i prateće institucije, poput sveučilišta i tvrtke za kartiranje i navigaciju. Ovi donositelji odluka bili su u rasponu od glavnih službenika za iskustvo i voditelja strategije do arhitekata sustava i potpredsjednika inženjeringa, zajedno predstavljajući cjelokupni pogled na stanje u industriji (McKinsey & Company, 2024).

U istraživanju većina ispitanika predviđa da će tri ili manje tvrtki osvojiti dominantan udio na tržištu. Očekuje se da će tržište Sjeverne Amerike biti najfragmentiranije, pri čemu samo 15 % ispitanika očekuje da će tržištem dominirati jedan ili dva igrača. Nasuprot tome, 38 % ispitanika predviđa da će europskim tržištem dominirati dva ili manje igrača. Predviđanja prema potpunoj autonomiji također se mijenjaju – dok je 58 % sudionika ankete 2021. godine vjerovalo da će Sjeverna Amerika biti prva koja će postaviti pilote za autoceste razine 4, ispitanici u anketi 2023. godine bili su ravnomjerno podijeljeni između toga da će Kina ili Sjeverna Amerika biti prvi. Ovo je dokaz napretka Kine na putu prema autonomnim vozilima, potaknut čimbenicima kao što su snažna potpora vlade, povećana ulaganja u istraživanje i dostupnost podataka i otvoren stav potrošača prema usvajanju nove tehnologije. Razdoblje za usvajanje autonomnih vozila u prosjeku se odužio za dvije do tri godine na svim razinama autonomije u odnosu na istraživanje iz 2021. godine. Prema istraživanju u 2023. godini, očekuje se da će robot-taksiji razine 4 postati komercijalno dostupni u velikoj mjeri do 2030. godine, a očekuje se da će potpuno autonomni kamionski prijevoz dosegnuti održivost između 2028. i 2031. godine. To može biti zbog tehničkih prepreka i izazova s dostupnosti kapitala. Osim toga, i dalje postoje regulatorni izazovi jer se propisi o autonomnim vozilima još uvijek razvijaju i donose (McKinsey & Company, 2024).

Nadalje, oko 60 % ispitanika i dalje vjeruje da regulacija najviše usporava usvajanje autonomnih vozila, što je jednako važno kao u istraživanju iz 2021. godine. Međutim, ispitanici su 2023. godine izvijestili o povećanom fokusu na tehnologiju, koji se povećao s prosječnih 26 % u 2021. godini na prosječnih 32 % u 2023. godini. Iako stručnjaci ne vjeruju da će potražnja potrošača biti glavna prepreka usvajanju, aktivni poslovni subjekti autonomnih vozila i dalje moraju uzeti u obzir važna pitanja kako bi se osiguralo prihvaćanje potrošača. Dvije trećine ispitanika vidi poboljšanu sigurnost kao ključno pitanje za potrošače. Predviđa se da će produktivnost (sposobnost obavljanja više zadataka tijekom vožnje) i udobnost biti sekundarni

faktori u spremnosti kupaca da plate. Očekuje se da će biti potrebno više od četiri milijarde dolara za autonomne kamione za cijelo putovanje i da će se ulaganja u slučajeve korištenja autoceste razine 3 (više od dvije milijarde dolara) i robot-taksije razine 4 i 5 (više od pet milijardi dolara) udvostručiti. Također, razvoj softvera se očekuje kao glavni pokretač ovog potrebnog ulaganja – uz troškove validacije, razvoj softvera bit će ključan za napredovanje tehnologije i demonstraciju njezine sigurnosti. Među potrebnim softverom, ispitanici su kao najkritičnije ocijenili algoritme predviđanja i softver za percepciju (McKinsey & Company, 2024).

Duga putovanja i širi logistički sektor preobrazit će autonomni kamioni bez vozača. Kako se ostvaruju sigurnosni ciljevi i smanjuju troškovi, regulatorna podrška razvija se s implementacijom. Mnogi stručnjaci smatraju da će transport i logistika biti prvi koji će implementirati tehnologije autonomnih vozila u velikim razmjerima (Future Agenda, 2020). Prisutne će biti i negativne strane autonomnih vozila što uključuje nezaposlenost kvalificiranih radnika (na primjer taksista i vozača kamiona), skupu tehnologiju (lidar automobilski sustavi), smanjene naplate poreza i osiguranja te raspravu o novim zakonima i zakonodavstvu vezanim uz novu tehnologiju. Međutim, čini se da ti nedostaci nisu dovoljni da zaustave istraživanje i razvoj koji su već u tijeku. U sljedećih 10-20 godina mogu se očekivati velike promjene u načinu na koji se upravlja cestama i uslugama prijevoza s novim putevima za stvaranje vrijednosti u prijevozu kao usluzi i velikim poboljšanjima u sigurnosti i učinkovitosti (Reissmann, 2024).

5. Zaključak

Autonomna vozila smatraju se revolucionarnom tehnologijom u automobilskoj industriji. Sve veći broj nesreća zbog ljudske pogreške izazvao je potrebu za prodorom autonomne tehnologije u automobilski sektor. Vozila mogu upravljati samostalno i obavljati potrebne funkcije kroz sposobnost svjesnosti svoje okoline uz pomoć ugrađenih senzora. Širenje tržišta potiču različiti čimbenici, a to uključuje razvoj međusobno povezane infrastrukture omogućen tehnološkim napretkom, smanjenjem prometnih gužvi u kombinaciji s poboljšanim sigurnosnim mjerama te porastom trenda ulaganja i suradnje među tvrtkama koje djeluju u sektoru autonomnih vozila. Trenutačno su autonomna vozila razine 2 i razine 3 najistaknutija na tržištu, dok se očekuje da će razina 4 i razina 5 (prema mjerilu SAE) postići šire prihvaćanje do 2030. godine. Automatizacija je klasificirana sa šest razina – kako se povećava razina, ljudska intervencija se smanjuje, a industrija autonomnih vozila svjedoči značajnom tehnološkom napretku u LiDAR-u, RADAR-u, kamerama i drugim sensorima. Vozila nude niz prednosti koje mogu pomoći tvrtkama da povećaju učinkovitost, smanje troškove i poboljšaju sigurnost. Uz prednosti, dolaze i nedostaci autonomnih vozila gdje se dovode u pitanje troškovi tehnologije, privatnost i sigurnost te prikupljanje podataka. Uz to, implementacija autonomnih vozila će utjecati i na radna mjesta – gubitak posla. Kako se autonomna vozila nastavljaju razvijati, pojavljuje se mnogo različitih izazova. Provedba jasnog i usklađenog regulatornog okvira i procesa odobravanja je iznimno potrebna. U Europi je regulatorni okvir definiran direktivama, uredbama i standardima EU. UNECE ima ključnu ulogu u razvoju globalnih regulatornih okvira za autonomna vozila, a aktivnosti nje i ostalih tijela za regulatorni okvir autonomnih vozila čine novu inicijativu usmjerenu na usklađivanje globalnih propisa o automatiziranoj vožnji i stvaranje produktivnijeg okruženja za inovacije. U Sjedinjenim Američkim Državama propisi za autonomna vozila prvenstveno se razvijaju na državnoj i saveznoj razini gdje je važno tijelo Ministarstvo prometa SAD-a. Značajan utjecaj imaju na okoliš, a u aspektu ekonomije, utječu na smanjenje troškova, no imat će i utjecaj na tržište rada – može pridonijeti nadolazećoj krizi nezaposlenosti i uzrokovati ekonomsku nestabilnost. Porast autonomnih vozila u logistici i transportu potaknut je tehnološkim napretkom, poboljšanjima sigurnosti, povećanjem učinkovitosti, uštedama troškova, rješenjima dostave, ekološkim pitanjima i željom za konkurentskom prednošću. Pojava takvih vozila označava značajnu transformaciju i utjecaj u području logistike i transporta na što se kroz odabrane primjere poduzeća i jasno ukazuje. Kako se tehnologija nastavlja razvijati i poboljšavati, vjerojatno će se u nadolazećim godinama vidjeti široka primjena autonomnih vozila u ovim industrijama.

Popis literature

Abosuliman, S. S. i Almagrabi A. O. (2021). Routing and scheduling of intelligent autonomous vehicles in industrial logistics systems. Preuzeto 23.06.2024. s https://www.researchgate.net/publication/349729790_Routing_and_scheduling_of_intelligent_autonomous_vehicles_in_industrial_logistics_systems

Allied Market Research (2023). Autonomous Vehicle Market. Preuzeto 15.05.2024. s <https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-vehicle-market>

Amazon Staff (2019). The story behind Amazon's next generation robot. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/the-story-behind-amazons-next-generation-robot>

Baker, L. (2020). Fetch Robotics democratizes warehouse automation. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.freightwaves.com/news/fetch-robotics-new-workflow>

Beck, J., Arvin, R., Lee, S., Khattak, A., Chakraborty, S. (2023). Automated vehicle data pipeline for accident reconstruction: New insights from LiDAR, camera, and radar data. Preuzeto 11.06.2024. s <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000145752200358X>

Bellon, T. (2022). U.S. will see 'meaningful' autonomous vehicle policy in 2020s -U.S. Transportation Secretary. Preuzeto 15.06.2024. s <https://www.reuters.com/world/us/us-will-see-meaningful-autonomous-vehicle-policy-2020s-us-transportation-2022-03-16/>

Brown, A. S. (2022). Amazon's tiny robot drives do the heavy lifting. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.amazon.science/latest-news/amazon-robotics-autonomous-drive-units-hercules-pegasus-xanthus-xbot>

Bureau of Labor Statistics (2024). Occupational Outlook Handbook. Preuzeto 29.05.2024. s <https://www.bls.gov/ooh/transportation-and-material-moving/heavy-and-tractor-trailer-truck-drivers.htm>

Cadence (bez dat.). The Use of RADAR Technology in Autonomous Vehicles. Preuzeto 25.05.2024. s <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2022-the-use-of-radar-technology-in-autonomous-vehicles>

Carrier, M. (2021). Autonomous-ready vehicle additions worldwide 2020 to 2023. Preuzeto 27.05.2024. s <https://www.statista.com/statistics/1075884/autonomous-ready-vehicle-net-additions-worldwide/>

Center for Automotive Research (2016). Federal automated vehicles policy. Preuzeto 10.06.2024. s https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/07/Federal-Automated-Vehicle-Policy-Memo_CAR-Overview-Comments.pdf

Center for Sustainable Systems (2023). Autonomous Vehicles Factsheet. Preuzeto 23.03.2024. s https://css.umich.edu/sites/default/files/2023-10/Autonomous%20Vehicles_CSS16-18.pdf

Choi, C. (2023). TuSimple first in China to operate fully autonomous truck on open public roads. Preuzeto 24.06.2024. s <https://insideautonomousvehicles.com/tusimple-first-in-china-to-operate-fully-autonomous-truck-on-open-public-roads/>

Cikusa, M. (2023). Here's Where American States Stand On Laws Around Autonomous Cars. Preuzeto 14.06.2024. s <https://www.hotcars.com/american-state-laws-around-autonomous-cars/>

Clepa (2018). Vienna Conventions from 1968 are still at the core of automated driving development and road safety efforts. Preuzeto 10.06.2024. s <https://clepa.eu/mediaroom/vienna-conventions-from-1968-are-still-at-the-core-of-automated-driving-development-and-road-safety-efforts/>

Cole, R. (2024). Autonomous vehicle. Preuzeto 20.03.2024. s <https://www.britannica.com/technology/autonomous-vehicle>

Connected Automated Driving (2022). US Testing infrastructure and procedure description. Preuzeto 10.06.2024. s <https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/national-level/non-eu/us/>

Connected Automated Driving (2023). EU-Level. Preuzeto 11.06.2024. s [https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/eu-level/#:~:text=Entering%20into%20force%20on%20August,system%20\(ADS\)%20of%20fully%20automated](https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/eu-level/#:~:text=Entering%20into%20force%20on%20August,system%20(ADS)%20of%20fully%20automated)

Connected Automated Driving (2023). Regulations and Policies. Preuzeto 03.06.2024. s <https://www.connectedautomateddriving.eu/regulation-and-policies/world-wide-harmonization/>

Copperdigital (bez dat.). The Rise of Autonomous Vehicles: Implications for Transportation and Logistics. Preuzeto 26.03.2024. s <https://copperdigital.com/blog/rise-of-autonomous-vehicles-implications-transportation/>

CWG Project Services (bez dat.). Rio Tinto AutoHaul Enhancement. Preuzeto 26.06.2024. s <https://www.cwgprojects.com.au/rio-tinto-autohaul-enhancement/>

Dentons (2023). Global Guide to Autonomous Vehicles 2023. Preuzeto 03.06.2024. s <https://www.dentons.com/en/insights/guides-reports-and-whitepapers/2023/march/8/global-guide-to-autonomous-vehicles-2023>

Dentons (2024). Global Guide to Autonomous Vehicles 2024. Preuzeto 03.06.2024. s <https://www.dentons.com/en/insights/guides-reports-and-whitepapers/2024/may/29/global-guide-to-autonomous-vehicles-2024>

DHL Trend Research (bez dat.). Self-driving vehicles in logistics. Preuzeto 23.06.2024. s [dhl-self-driving-vehicles.pdf](https://www.dhl.com/asset-management/insights/self-driving-vehicles.pdf)

Dorleco (2024). Sensors in Autonomous Vehicles. Preuzeto 02.04.2024. s <https://dorleco.com/sensors-in-autonomous-vehicles/>

Economic and Social Council (2022). Proposal for the 01 series of amendments to UN Regulation No. 157 (Automated Lane Keeping Systems). Preuzeto 10.06.2024. s <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/ECE-TRANS-WP.29-2022-59r1e.pdf>

eInfochips (2023). OTA Automotive Software: Revolutionizing Vehicle Updates for a Seamless Driving Experience. Preuzeto 18.06.2024. s <https://www.linkedin.com/pulse/ota-automotive-software-revolutionizing-vehicle-updates-seamless-8qbuf/>

EU Urban Mobility Observatory (2022). New EU rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU. Preuzeto 01.06.2024. s https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-improve-road-safety-and-enable-fully-driverless-vehicles-eu-2022-07-22_en#:~:text=The%20new%20rules%20are%20part%20of%20the%20new,before%20they%20are%20placed%20on%20the%20EU%20market

European Commission (2018). Autonomous Vehicles & Traffic Safety. Preuzeto 19.06.2024. s <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/ersosynthesis2018-autonomoussafety-summary.pdf>

European Commission (2022). New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU. Preuzeto 29.05.2024. s https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_4312

European Commission (bez dat.). Vehicle Safety and automated/connected vehicles. Preuzeto 17.06.2024. s https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/automotive-industry/vehicle-safety-and-automatedconnected-vehicles_en

European Parliament (2019). Self-driving cars in the EU: from science fiction to reality. Preuzeto 21.03.2024. s [https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20190110STO23102/self-driving-cars-in-the-eu-from-science-fiction-to-reality#:~:text=Levels%20of%20automation%20and%20timeline&text=Vehicles%20assisting%20drivers%20\(levels%201,should%20arrive%20as%20of%202030.](https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20190110STO23102/self-driving-cars-in-the-eu-from-science-fiction-to-reality#:~:text=Levels%20of%20automation%20and%20timeline&text=Vehicles%20assisting%20drivers%20(levels%201,should%20arrive%20as%20of%202030.)

Farrah, J. (2024). 25 States Have Autonomous Vehicle Laws. Preuzeto 16.06.2024. s https://www.realclearpolicy.com/2024/05/23/25_states_have_autonomous_vehicle_laws_1033588.html

Farrah, J. (2024). A Milestone to Celebrate: 25 States Have Autonomous Vehicle Laws. Preuzeto 03.06.2024. s https://www.realclearpolicy.com/articles/2024/05/23/a_milestone_to_celebrate_25_states_have_autonomous_vehicle_laws_1033587.html

Fetch Robotics (bez dat.). Virtual conveyor. Preuzeto 25.06.2024. s <https://fetchrobotics.borealtech.com/virtualconveyor/?lang=en>

Foresight (2023). An Overview of Autonomous Sensors – LIDAR, RADAR, and Cameras. Preuzeto 02.04.2024. s <https://www.foresightauto.com/an-overview-of-autonomous-sensors-lidar-radar-and-cameras/>

Frank, L. i Mohamed, S. (2024). The Future of Transportation: Autonomous Vehicles and their Impact on Logistics. Preuzeto 21.06.2024. s https://www.researchgate.net/publication/380297561_The_Future_of_Transportation_Autonomous_Vehicles_and_their_Impact_on_Logistics

Future Agenda (2020). The future of autonomous vehicles. Preuzeto 31.06.2024. s https://www.connectedautomateddriving.eu/wp-content/uploads/2023/06/Future-Agenda-open-foresight-The-future-of-autonomous-vehicles-Global-Insights-gained-from-Multiple-Expert-Discussions_01-04-2020_Future-Agenda-Limited.pdf

Giannaros, A., Karras, A., Theodorakopoulos, L., Karras, C., Kranias, P., Schizas, N, Kalogeratos, G. i Tsolis, D. (2023). Autonomous Vehicles: Sophisticated Attacks, Safety Issues, Challenges, Open Topics, Blockchain, and Future Directions. Preuzeto 27.05.2024. s <https://www.mdpi.com/2624-800X/3/3/25>

Global Market Insights (2024). Autonomous Vehicle Market Size. Preuzeto 16.05.2024. s <https://www.gminsights.com/industry-analysis/autonomous-vehicle-market>

GreenBiz (2022). Driverless cars won't be good for the environment if they lead to more auto use. Preuzeto 20.06.2024. s <https://www.greenbiz.com/article/driverless-cars-wont-be-good-environment-if-they-lead-more-auto-use>

Hämäläinen, J., Yli-Paunu, P. i Peussa, P. (bez dat.). Automated container terminals and self-driving cars: Industry outlook. Preuzeto 25.06.2024. s https://www.kalmarglobal.com/497f77/globalassets/media/215590/215590_White-paper-Autonomous-cars-web.pdf

Hanson, A. (2018). What can we learn from the Patrick Auto Strad Terminal? Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.linkedin.com/pulse/what-can-we-learn-from-patrick-auto-strad-terminal-allan-hanson/>

Heavy Lift News [Slika 5] (2020). Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.heavyliftnews.com/kalmar-autostrad-for-patrick-terminals-in-australia/>

Heavy Lift News (2021). Patrick Terminals in Australia Order 12 Kalmar AutoStrad™ Units. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.heavyliftnews.com/patrick-terminals-in-australia-order-12-kalmar-autostrad-units/>

Hillary (2023). AI and Autonomous Vehicles: A Road Safety Revolution. Preuzeto 17.06.2024. s <https://techbullion.com/ai-and-autonomous-vehicles-a-road-safety-revolution/>

Igini, M. (2022). Environmental Pros and Cons of Self-Driving Cars. Preuzeto 20.06.2024. s <https://earth.org/pros-and-cons-of-self-driving-cars/>

Jarrett, C. (2023). Introducing Titan, Amazon's new mobile robot that can lift up to 2,500 pounds. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-unveils-titan-fulfillment-center-robot>

Kalmar (bez dat.). Patrick Brisbane AutoStrad. Preuzeto 25.06.2024. s https://www.kalmarusa.com/49298c/globalassets/customer-cases/all-customer-cases/patrick-brisbane-australia/case_patrick_brisbane_autostrad_web.pdf

Kalmar (2023). Automated truck handling: The last link in terminal automation. Preuzeto 25.06.2024. s https://www.kalmarglobal.com/news--insights/articles/2023/20230430_automated-truck-handling/

Kalmar (2023). Patrick Terminals to boost sustainable container handling with ten Kalmar hybrid straddle carriers. Preuzeto 25.06.2024. s https://www.kalmarglobal.com/news--insights/press_releases/2023/patrick-terminals-to-boost/

Kalmar (2024). The business impact of RTG-AutoStrad™ terminal conversion. Preuzeto 25.06.2024. s https://www.kalmarglobal.com/news--insights/articles/2024/0514_the-business-impact-of-rtg-autostrad-terminal-conversion/

Keay, A. (2016). SVR Case Studies: Fetch Robotics bringing warehouses to life. Preuzeto 25.06.2024. s <https://svrobo.org/svr-case-studies-fetch-robotics-bringing-warehouses-to-life/>

Khan, M. (2023). Revolutionizing Logistics and Transportation: The Impact of Autonomous Vehicles. Preuzeto 08.05.2024. s <https://www.linkedin.com/pulse/revolutionizing-logistics-transportation-impact-vehicles-maaz-khan/>

Knez, J. (2024). Pravni okvir za upotrebu samovozećih vozila na hrvatskim cestama ne postoji. Preuzeto 20.03.2024. s <https://lidermedia.hr/biznis-i-politika/pravni-okvir-za-upotrebu-takvih-vozila-na-hrvatskim-cestama-ne-postoji-155182>

Laber, J., Thamma, R. i Kirby, E. D. (2020). The Impact of Warehouse Automation in Amazon's Success. Preuzeto 25.06.2024. s https://ijiset.com/vol7/v7s8/IJISSET_V7_I8_07.pdf

Lafuente, I., Tobar, M., Luján, C. i Martínez Rami, E. (2019). Challenges in the Regulatory Framework of Automated Driving. Preuzeto 03.06.2024. s <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-26-0097/>

Lee, Gober & Reyna (2024). Examining Autonomous Car Accidents and Statistics. Preuzeto 18.06.2024. s <https://www.lgrlawfirm.com/blog/examining-autonomous-car-accidents-and-statistics-2/>

Mansour, M. (2023). The Future of Transportation: How Autonomous Vehicles are Reshaping the Logistics Industry. Preuzeto 18.05.2024. s <https://www.linkedin.com/pulse/future-transportation-how-autonomous-vehicles-mansour-pmp-cbscp/>

Martret, O. (2023). Regulations for Autonomous Vehicles: We're just getting started. Preuzeto 15.06.2024. s <https://shotl.com/news/regulations-for-autonomous-vehicles--were-just-getting-started>

Mattar, W. (bez dat.). Potential Problems with Self-Driving Cars. Preuzeto 14.05.2024. s https://williammattar.com/practice-areas/self-driving-car-accident-attorney/potential-problems-with-self-driving-cars/?utm_content=organic_direct

McGillis, J. (2023). Autonomous Now: Why We Need Self-Driving Technology and How We Can Get It Faster. Preuzeto 23.05.2024. s <https://manhattan.institute/article/why-we-need-self-driving-technology-and-how-we-can-get-it-faster>

McKinsey & Company (2023). Autonomous driving's future: Convenient and connected. Preuzeto 28.05.2024. s <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-drivings-future-convenient-and-connected>

McKinsey & Company (2024). Autonomous vehicles moving forward: Perspectives from industry leaders. Preuzeto 30.06.2024. s <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/our-insights/autonomous-vehicles-moving-forward-perspectives-from-industry-leaders>

Mercedes-Benz Group (2024). Automated and fully automated driving. Preuzeto 10.06.2024. s <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/legal-framework.html>

Mobileye (2023). A Brief History of Autonomous Vehicles – from Renaissance to Reality. Preuzeto 23.03.2024. s <https://www.mobileye.com/blog/history-autonomous-vehicles-renaissance-to-reality/>

Mordor Intelligence (2024). Autonomous Vehicle Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 – 2029). Preuzeto 16.05.2024. s

<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/autonomous-driverless-cars-market-potential-estimation>

Mutabazi, P. (2023). Self-Drive/Autonomous Trucks and their Impact on Logistics. Preuzeto 23.06.2024. s <https://www.linkedin.com/pulse/self-driveautonomous-trucks-impact-logistics-patrick-mutabazi/>

National Rail Skill Hub (bez dat.). Preparing a workforce for radical change – the AutoHaul Project. Preuzeto 26.06.2024. s <https://www.railskillshub.gov.au/preparing-workforce-radical-change-autohaul-project>

Nextmsc (2023). Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2023-2030. Preuzeto 16.05.2024. s <https://www.nextmsc.com/report/autonomous-vehicle-market>

NHTSA (2023). The Economic and Societal Impact of Motor Vehicle Crashes, 2019 (Revised). Preuzeto 19.06.2024. s <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/813403.pdf>

NHTSA (bez dat.). Automated Driving Systems. Preuzeto 13.06.2024. s <https://www.nhtsa.gov/vehicle-manufacturers/automated-driving-systems>

NHTSA (bez dat.). Automated Vehicles for Safety. Preuzeto 12.06.2024. s <https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/automated-vehicles-safety>

Nurgaliev, I. i Eskander, Y. (2023). The Use of Drones and Autonomous Vehicles in Logistics and Delivery. Preuzeto 21.06.2024. s [file:///C:/Users/pongrr/Downloads/The_Use_of_Drones_and_Autonomous_Ve%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/pongrr/Downloads/The_Use_of_Drones_and_Autonomous_Ve%20(2).pdf)

Ors, A. (2017). RADAR, Camera, LiDAR and V2X for Autonomous Cars. Preuzeto 02.04.2024. s <https://www.nxp.com/company/blog/radar-camera-lidar-and-v2x-for-autonomous-cars:BL-RADAR-LIDAR-V2X-AUTONOMOUS-CARS>

Paredes, R. (2023). What is Autonomous Vehicle Safety? Preuzeto 23.05.2024. s <https://safetyculture.com/topics/autonomous-vehicle-safety/>

Patrick (bez dat.). Patrick Terminals – Brisbane AutoStrad. Preuzeto 25.06.2024. s <https://patrick.com.au/locations/brisbane/>

Perkins Coie (2016). Overview of NHTSA's Federal Automated Vehicles Policy. Preuzeto 12.06.2024. s <https://www.perkinscoie.com/en/news-insights/overview-of-nhtsa-s-federal-automated-vehicles-policy.html>

Petit, F. (2020). The beginnings of LiDAR – A time travel back in history. Preuzeto 05.04.2024. s <https://www.blickfeld.com/blog/the-beginnings-of-lidar/>

Placek, M. (2023). Autonomous vehicles worldwide – statistics & facts. Preuzeto 27.05.2024. s <https://www.statista.com/topics/3573/autonomous-vehicle-technology/#topicOverview>

Pressman, A. [Slika 6] (2019). Preuzeto 27.06.2024. s <https://fortune.com/2019/07/29/autonomous-trains-challenges/>

PR Newswire (2023). TuSimple Announces Fourth Quarter 2022 Results and Business Updates. Preuzeto 24.06.2024. s <https://www.prnewswire.com/news-releases/tusimple-announces-fourth-quarter-2022-results-and-business-updates-301920274.html>

PR Newswire (2023). TuSimple Becomes First to Successfully Operate Driver Out, Fully Autonomous Semi-truck on Open Public Roads in China. Preuzeto 24.06.2024. s <https://www.prnewswire.com/news-releases/tusimple-becomes-first-to-successfully-operate-driver-out-fully-autonomous-semi-truck-on-open-public-roads-in-china-301852732.html>

Precedence Research (2024). Autonomous Vehicle Market Size, Share, and Trends. Preuzeto 22.05.2024. s <https://www.precedenceresearch.com/autonomous-vehicle-market>

Putz, A. (2018). M&A flashback: Amazon announces \$775M Kiva Systems acquisition. Preuzeto 25.06.2024. s <https://pitchbook.com/news/articles/ma-flashback-amazon-announces-775m-kiva-systems-acquisition>

R.I. (2022). Autonomna vozila uskoro i na našim cestama: Europska unija donosi ključni zakon! Preuzeto 25.03.2024. s <https://revijahak.hr/2022/07/07/autonomna-vozila-uskoro-i-na-nasim-cestama-europska-unija-donosi-kljucni-zakon/>

Railway Gazette International (2022). Driverless heavy haul railway expanded to serve automated iron ore mine. Preuzeto 26.06.2024. s <https://www.railwaygazette.com/driverless-heavy-haul-railway-expanded-to-serve-automated-iron-ore-mine/62351.article>

Ramirez, L. (2023). Driving Towards the Future: The Role of OTA Updates in Autonomous Vehicles. Preuzeto 13.06.2024. s <https://mender.io/blog/driving-towards-the-future-the-role-of-ota-updates-in-autonomous-vehicles>

Reissmann, M. (2024). The Future of Autonomous Vehicles. Preuzeto 14.05.2024. s <https://www.futuresplatform.com/blog/future-autonomous-vehicles>

Rio Tinto (bez dat.). Automation. Preuzeto 26.06.2024. s <https://www.riotinto.com/en/mn/about/innovation/automation>

Robare, M. (2023). Unveiling the Past: A Brief Autonomous Vehicles History. Preuzeto 24.03.2024. s <https://www.urbansdk.com/blog/autonomous-vehicles-history>

Robotmag [Slika 3] (bez dat.). Preuzeto 12.05.2024. s <https://www.robot-magazine.fr/robotisation-entrepots-etude-de-cas-amazon/>

Sena, J. (2024). Global Autonomous Cars Market Size, Share, Trends, Growth 2032. Preuzeto 17.05.2024. s <https://www.linkedin.com/pulse/global-autonomous-cars-market-size-share-trends-growth-jon-sena-u4vif/>

SpendEdge (2024). Impact of Autonomous Vehicles in the Logistics Industry. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.spendedge.com/blogs/autonomous-vehicles-logistics-industry/>

Statista (2017). 45,000 Robots Form Part Of Amazon Workforce. Preuzeto 25.06.2024. s <https://www.statista.com/chart/7428/45000-robots-form-part-of-amazon-workforce/>

Statista (2022). Size of the global autonomous car market in 2021, with a forecast through 2026. Preuzeto 23.05.2024. s <https://www.statista.com/statistics/428692/projected-size-of-global-autonomous-vehicle-market-by-vehicle-type/>

Storage Solutions (bez dat.). *In Depth Look at Our Newest Partner: Fetch Robotics*. Preuzeto 24.06.2024. s <https://storage-solutions.com/depth-look-partner-fetch-robotics/>

Storage Solution [Slika 4] (bez dat.). Preuzeto 24.06.2024. s <https://storage-solutions.com/depth-look-partner-fetch-robotics/>

Swarco (bez dat.). Autonomous Driving: Pros & Cons. Preuzeto 10.05.2024. s <https://www.swarco.com/mobility-future/autonomous-driving/autonomous-driving-pros-cons>

TaskUs (2024). Top Autonomous Vehicle Challenges and How to Solve Them. Preuzeto 27.05.2024. s <https://www.taskus.com/insights/autonomous-vehicle-challenges/>

Team AI regulation (2022). The EU Commission Regulatory Stance On Autonomous Vehicles. Preuzeto 08.06.2024. s <https://ai-regulation.com/the-eu-commission-regulatory-stance-on-autonomous-vehicles/>

Telefonica (2023). Autonomous car and the future of road safety. Preuzeto 18.06.2024. s <https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/autonomous-car-and-the-future-of-road-safety/>

The Brainy Insights (2023). Global Industry Analysis, Share, Growth, Trends, and Forecast 2023 to 2032. Preuzeto 22.05.2024. s <https://www.thebrainyinsights.com/report/autonomous-vehicle-market-13887>

Tomorrow's world today (2021). History of Autonomous Cars. Preuzeto 23.03.2024. s <https://www.tomorrowstoday.com/artificial-intelligence/history-of-autonomous-cars/>

TuSimple (2019). New Research Finds TuSimple Trucks are at Least 10% More Fuel Efficient Than Traditional Trucks, Per TuSimple and UC San Diego Study. Preuzeto 24.06.2024. s <https://www.tusimple.com/wp-content/uploads/2021/01/UCSD-Fuel-Study-Press-Release.pdf>

TuSimple (2021). 2021 Annual Report. Preuzeto 24.06.2024. s https://s202.g4cdn.com/364265561/files/doc_financials/2021/ar/TuSimple-Holdings-2021-Annual-Report.pdf

TuSimple (2021). Environmental, Social, and Governance Report. Preuzeto 24.06.2024. s <https://www.tusimple.com/wp-content/uploads/2022/11/TuSimple-2021-ESG-Report.pdf>

TuSimple (bez dat.). Safety. Preuzeto 24.06.2024. s <https://www.tusimple.com/safety/>

TuSimple (bez dat.). TuSimple. Preuzeto 24.06.2024. s <https://www.tusimple.com/>

TWI (bez dat.). What is an autonomous vehicle? Preuzeto 20.03.2024. s <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-an-autonomous-vehicle>

U.S. Department of Transportation (2021). Automated Vehicles Comprehensive Plan. Preuzeto 16.06.2024. s <https://www.transportation.gov/av/avcp>

U.S. Department of Transportation (2022). USDOT Automated Vehicles Activities. Preuzeto 15.06.2024. s <https://www.transportation.gov/AV>

UNECE (2021). All you need to know about Automated Vehicles. Preuzeto 03.06.2024. s <https://unece.org/sites/default/files/2022-01/Brochure%20Automated%20Vehicles.pdf>

UNECE (2022). UN Regulation extends automated driving up to 130 km/h in certain conditions. Preuzeto 03.06.2024. s <https://unece.org/sustainable-development/press/un-regulation-extends-automated-driving-130-kmh-certain-conditions>

UNECE (bez dat.). UNECE: Driving Progress on Autonomous Vehicles. Preuzeto 03.06.2024. s https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/wp29grva/Autonomous_driving_UNECE.pdf

Wang, X., Ye, C., Quddus, M., Morris, A. (2023). Pedestrian safety in an automated driving environment: Calibrating and evaluating the responsibility-sensitive safety model. Preuzeto 15.06.2024. s <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457523003123>

Wired (bez dat.). A Brief History of Autonomous Vehicles Technology. Preuzeto 23.03.2024. s <https://www.wired.com/brandlab/2016/03/a-brief-history-of-autonomous-vehicle-technology/>

WSIU [Slika 2] (2022). Preuzeto 20.06.2024. s <https://www.wsiu.org/2022-04-01/take-a-ride-in-a-robot-semi-truck-a-potential-solution-to-snags-in-u-s-supply-chain>

Y mobility (2023). The Impact of Autonomous Vehicles on Job Markets. Preuzeto 18.06.2024. s <https://www.y-mobility.co.uk/the-impact-of-autonomous-vehicles-on-job-markets/#:~:text=They%20predict%20there%20won't,self%2Ddriving%20systems%20to%20tackle>

Yeong, D. J. [Slika 1] (2021). Preuzeto 10.05.2024. s https://www.researchgate.net/publication/349498440_Sensor_and_Sensor_Fusion_Technology_in_Autonomous_Vehicles_A_Review

Yeruva, V. (2022). Autonomous Vehicles And Their Impact On The Economy. Preuzeto 19.06.2024. s <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/02/14/autonomous-vehicles-and-their-impact-on-the-economy/>

Yusuf, M. (2020). Heavy Haul Freight Transportation System: AutoHaul. Preuzeto 26.06.2024. s https://www.hitachi.com/rev/archive/2020/r2020_06/06a05/index.html

Popis slika

Slika 1. Položaj senzora u autonomnom vozilu.....	12
Slika 2. TuSimple kamion u Tucsonu, Arizona.....	34
Slika 3. Kiva Robotics Amazon.....	35
Slika 4. Fetch Robotics.....	37
Slika 5. Kalmar AutoStrad - Patrick Terminals u Australiji.....	39
Slika 6. Rio Tinto autonomni vlak	40

Popis tablica

Tablica 1. Razine automatizacije autonomnih vozila 8