

Utjecaj autonomnih vozila na cestovni promet

Vučina, Antonela

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:302028>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Antonela Vučina

**UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA
POSTOJEĆU CESTOVNU INFRASTRUKTURU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 7. svibnja 2020.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi II**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5995

Pristupnik: **Antonela Vučina (0135238512)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Utjecaj autonomnih vozila na cestovni promet**

Opis zadatka:

Suvremeni pristup u rješavanju nagomilanih problema u prometu i transportu je primjena inteligentnih transportnih sustava. U posljednje vrijeme postoje sve značajnija istraživanja u području primjena autonomnih vozila i njihovog utjecaja na cestovni promet te društvo u cjelini. Cilj ovog rada je opisati postojeći stupanj razvoja autonomnih vozila i s tim povezane probleme u njihovoj implementaciji u prometni sustav. U praktičnom dijelu rada potrebno je provesti analizu spremnosti cestovne infrastrukture u Republici Hrvatskoj za uključenje autonomnih vozila.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Sadko Mandžuka

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA
POSTOJEĆU CESTOVNU INFRASTRUKTURU**

**THE IMPACT OF AUTONOMOUS VEHICLES ON ROAD
INFRASTRUCTURE**

Mentor: prof. dr. sc. Sadko Mandžuka

Student: Antonela Vučina

JMBAG: 0135238512

Zagreb, kolovoz 2020.

Zahvale

Zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Sadku Mandžuki na podršci i razumijevanju tijekom izrade ovog diplomskog rada. Također zahvaljujem svojoj obitelji, dečku i prijateljima za neizmjernu potporu tijekom cijelog studiranja.

-

Sažetak

Naslov: Utjecaj autonomnih vozila na postojeću cestovnu infrastrukturu

Autonomna vozila predstavljaju jedno od najiščekivanijih tehnoloških dostignuća sadašnjice. Opremanje vozila autonomnom tehnologijom zasigurno će donijeti prednosti poput smanjenja sudara, zagušenja prometa i potrošnje energije, povećanja mobilnosti te brojne druge prednosti koje će u nastavku rada biti spomenute. Međutim, uvođenje autonomnih vozila u cestovni promet pokrenut će pitanja vezana za njihove moguće posljedice. S obzirom na klasifikaciju autonomnih vozila prema razinama autonomnosti jasno je da svaka razina neće moći funkcionirati na trenutnoj cestovnoj infrastrukturi. Zbog svega navedenog potrebno je analizirati razinu spremnosti trenutne infrastrukture i prikazati načine uvođenja takvih vozila na nju. U ovomu je diplomskom radu predložena metodologija analize cestovne infrastrukture te je izrađeno istraživanje o prihvaćenosti autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj. Iz rezultata se istraživanja zaključuje kako laici još uvijek nisu posve upoznati sa svim aspektima i mogućnostima koje donose autonomna vozila te su još uvijek skeptični prema takvoj tehnologiji.

Ključne riječi: Autonomna vozila, autonomna tehnologija, klasifikacija autonomnih vozila, cestovna infrastru

Abstract

Title: The Impact of Autonomous Vehicles on Road Infrastructure

Autonomous vehicles represent one of the most anticipated technological achievements of our time. Vehicles that are equipped with the autonomous technology will bring a lot of benefits to us. Some of the main benefits are fewer accidents, less congestion, less energy consumption, greater mobility and many others. However, with the introduction of autonomous vehicles in the road traffic many new questions will arise. By current classification, which is based on the level of autonomy of each vehicle, it is clear that not all types of these vehicles are suited for the current traffic network. All of these factors require detailed analysis regarding readiness of the current infrastructure and ways in which new autonomous vehicles could be introduced. This paper analyses current road infrastructure and acceptance of these new types of vehicles in the Republic of Croatia. Research results indicate that this subject is still very abstract to the majority of the people that were included in the research and are sceptical regarding this new technology.

Keywords: Autonomous Vehicles, Autonomous Technology, Classification of Autonomous Vehicles, Road Infrastructure

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Autonomna vozila -prikaz postojećeg stanja	3
2.1. Povijest autonomnih vozila	3
2.2. Klasifikacija autonomnih vozila	4
2.3. Upravljački sustavi u autonomnim vozilima	6
2.3.1. Senzorski sustavi	7
2.3.2. Klijentski sustavi	9
2.3.3. Akcijski sustavi	10
2.3.4. Korisnički sustavi	10
2.4. Komunikacija	10
3. Temeljne značajke mogućeg utjecaja na cestovni promet i društvo	13
3.1. Utjecaj na cestovni promet	13
3.1.1. Utjecaj na mobilnost.....	13
3.1.2. Utjecaj na prometnu potražnju	15
3.1.3. Utjecaj na upravljanje prometom	15
3.1.4. Utjecaj na sigurnost	17
3.2. Utjecaj na društvo	17
3.2.1. Ekonomski utjecaj	17
3.2.2. Utjecaj na tržište rada	18
3.2.3. Utjecaj na sigurnost	19
3.2.4. Utjecaj na odgovornost.....	20
3.2.5. Utjecaj na privatnost.....	21
3.2.6. Utjecaj na kibernetičku sigurnost	21
3.2.7. Teritorijalni utjecaj	22
3.2.8. Ekološki utjecaj	23
4. Prijedlog metodologije analize spremnosti cestovne infrastrukture	25
4.1. Metodologija	25
4.2. Implikacije autonomnih vozila za cestovnu infrastrukturu	26
4.2.1. Značajke cestovne infrastrukture.....	27
4.2.2. Značajke vozača	28
4.3. Spremnost trenutne infrastrukture	28
4.4. Izazovi za budućnost	32

5. Rezultati istraživanja i diskusija ocjene očekivanja.....	34
6. Zaključak	47
Popis literature	48
Popis ilustracija	52
Popis tablica	53
Popis grafikona	54

1. Uvod

Tehnologija autonomnih vozila nudi mogućnost fundamentalne promjene prometnoga sustava [1]. Autonomna vozila omogućuju nove oblike mobilnosti i smatra se da donose brojne ekonomske i socijalne prednosti, ali postoje zabrinutosti koliko će se zapravo manifestirati te prednosti u stvarnosti i kako će utjecati na prometni sustav i čovjeka općenito. Kao i kod svih novih tehnologija, prikladne strategije i zakoni mogu povećati potencijalne koristi povezane s brzim razvojem autonomnih vozila i minimizirati rizike povezane s tehnološkim smetnjama kao i negativne i nenamjerne posljedice [2].

Povijest autonomnih vozila seže još do početka dvadesetog stoljeća i može se podijeliti u tri faze. Prva je bila faza temeljnog razvoja i iz nje su proizašla dva tehnološka koncepta. Faza velikih izazova je uslijedila nakon nje i u njoj se ističe agencija Ministarstva obrane Sjedinjenih američkih Država koja sa svojim projektima znatno unaprjeđuje tehnologiju autonomnih vozila. U trećoj je fazi fokus na komercijalnom razvoju.

Autonomna su vozila sposobna spoznati svoje okruženje i djelovati u njemu bez ljudskog čimbenika. Predstavljaju kombinaciju senzora i naprednih upravljačkih sustava koja im omogućuje kretanje od polazišta do zadanog odredišta uz minimalno sudjelovanje čovjeka ili u potpunosti bez njega [1]. Prema SAE (eng. *Society of Automotive Engineers*) klasifikaciji, stupnjevi autonomnosti vozila podijeljeni su na šest razina, od nulte do pete razine. Nulta razina zapravo predstavlja manualnu vožnju dok peta razina označava potpunu autonomnost [3]. Arhitektura upravljačkog sustava potpuno autonomnog vozila sastoji se od senzorskih sustava, klijentskih sustava, akcijskih sustava i korisničkih sustava [4].

Kao što je već spomenuto, autonomna vozila će promijeniti prometni sustav. S obzirom na njihov utjecaj na cestovni promet smatra se da će povećati mobilnost i prometnu potražnju, smanjiti zagušenja u prometu te značajno unaprijediti sigurnost. Kod utjecaja na društvo kao glavna se prepreka navodi prihvaćenost autonomnih vozila od strane društva zbog općenitog mišljenja javnosti o takvim vozilima i svemu što dolazi s njima.

S obzirom na to da postojeća prometna infrastruktura ne može podržati normalno i sigurno funkcioniranje autonomnih vozila, postoje dvije konkurentne strategije uvođenja tih vozila. Ideja je prve strategije suradnja potpuno autonomnih vozila s postojećom infrastrukturom ili njezinom pojednostavljenom verzijom. Druga strategija zagovara zadržavanje svih razina

autonomnosti kako bi s obzirom na dostupnu infrastrukturu mogli funkcionirati u svim scenarijima.

Cilj je ovoga diplomskoga rada prikazati utjecaj autonomnih vozila na postojeću cestovnu infrastrukturu i društvo općenito. U tu je svrhu razvijena metodologija prema kojoj se analizirala spremnost postojeće cestovne infrastrukture te je izrađeno istraživanje o prihvaćenosti autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj. Istraživanje je izrađeno u obliku anketnog upitnika u alatu LimeSurvey [5]. Ovaj je rad sastavljen od šest poglavlja:

1. Uvod
2. Autonomna vozila – prikaz postojećeg stanja
3. Temeljne značajke mogućeg utjecaja na cestovni promet i društvo
4. Prijedlog metodologije analize spremnosti cestovne infrastrukture
5. Rezultati istraživanja i diskusija ocjene očekivanja.

U uvodnom su poglavlju predstavljene struktura i cilj ovoga diplomskoga rada. Također, dan je i opći pregled tematike. U drugom su poglavlju definirana autonomna vozila, klasifikacija razina njihove autonomnosti kao i arhitektura upravljačkih sustava te njihova komunikacijska paradigma. U trećem su poglavlju istaknute temeljne značajke mogućeg utjecaja na promet i društvo. U četvrtom je poglavlju predložena metodologija analize spremnosti cestovne infrastrukture te su prikazane implikacije autonomnih vozila za cestovnu infrastrukturu, razina spremnosti trenutne infrastrukture i izazovi koji se mogu očekivati u budućnosti. U petom je poglavlju izrađeno istraživanje o prihvaćenosti autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj. U posljednjem je poglavlju iznesen zaključak ovoga diplomskoga rada s obzirom na prethodna poglavlja.

2. Autonomna vozila - prikaz postojećeg stanja

Autonomna su vozila ona vozila koja su sposobna spoznati svoje okruženje i djelovati u njemu bez ljudskoga faktora. Predstavljaju kombinaciju senzora i naprednih upravljačkih sustava koja im omogućuje kretanje od polazišta do zadanog odredišta uz minimalno sudjelovanje čovjeka ili u potpunosti bez njega [1].

2.1. Povijest autonomnih vozila

Iako se pojam autonomnih vozila veže uz moderno doba prvi oblik automatiziranih sustava vožnje javlja se početkom dvadesetog stoljeća. Razvoj autonomnih vozila kroz povijest može se prikazati kroz tri faze.

Prva od njih bila je faza temeljnog istraživanja u kojoj su istraživački centri u suradnji s transportnim agencijama i automobilskim tvrtkama izrađivali jednostavne studije autonomnog prijevoza. Trajala je otprilike od godine 1980. do godine 2003. te su u tom periodu proizašla dva glavna tehnološka koncepta. Glavna vizija prvog tehnološkog koncepta bila je razvoj autonomnih sustava prilagođenih uvjetima na autocesti i njemu vozila najviše ovise o infrastrukturi autoceste koja im služi za usmjeravanje. Drugi je tehnološki koncept temeljen na razvoju autonomnih vozila koja bi funkcionirala u djelomičnoj ovisnosti o infrastrukturi autoceste ili u potpunosti bez njene pomoći [1, 6].

Druga faza razvoja autonomnih vozila poznatija je pod nazivom „Faza velikih izazova“. Ova je faza trajala od godine 2003. do godine 2007 te se u njoj ističe Agencija za obrambene napredne istraživačke projekte američkog Ministarstva obrane (eng. *Defense Advanced Research Projects Agency* - DARPA) kao temeljni pokretač triju „velikih izazova“ koji svaki za sebe znatno unaprjeđuju tehnologiju autonomnih vozila. Glavni je cilj navedenih izazova bio istražiti mogućnost primjene autonomnih vozila u vojne svrhe [7].

U posljednjoj je fazi fokus na komercijalnom razvoju i zbog toga se naziva „Faza komercijalnoga razvoja“. Izazovi u prethodnoj fazi koje je potakla DARPA učvrstili su partnerstva između automobilske industrije i obrazovnoga sektora. Također su pokrenuti brojni programi s ciljem unaprjeđenja tehnologije autonomnih vozila. Neki od najvažnijih programa su: Kolaborativni istraživački laboratorij za autonomnu vožnju (eng. *Autonomous Driving Collaborative Research Lab*), partnerstvo između General Motorsa i Sveučilišta Carnegie Mellon te partnerstvo između Volkswagena i Sveučilišta Stanford [8].

U dosadašnjim se istraživanjima i postignućima bitno ističe Googleovo autonomno vozilo zbog toga što je to prvo autonomno vozilo koje je iz laboratorija na sveučilištu prešlo u komercijalni razvoj [9]. Google je također odigrao bitnu ulogu u promicanju i demonstraciji svojih programa u javnim kampanja, a u tome ga slijede Audi, Toyota, Waymo, Mercedes i mnogi drugi.

2.2. Klasifikacija autonomnih vozila

Stupanj autonomnosti vozila izravno je povezan s njegovom tehnološkom složenosti. Različite stupnjeve autonomnosti vozila prvi puta je definirala NHTSA – (*National Traffic Safety Administration*) godine 2013., a bilo ih je pet. Godinu dana kasnije Udruga automobilskih inženjera - SAE International (eng. *Society of Automotive Engineers* - SAE) objavila je klasifikaciju autonomnih vozila u šest razina pod nazivom *SAE J3016: JAN2014 standard* koju su ažurirali godine 2016. pod nazivom *SAE J3016:SEP2016 standard*. Ova se klasifikacija temelji na količini potrebne intervencije i pažnje vozača [3].

Razlika između SAE i NHTSA klasifikacije je to što je NHTSA-ina treća razina razdvojena u dva detaljnija dijela u SAE standardu. Razine se razlikuju prema tome je li vozač ili vozilo odgovorno za upravljanje kontrolama, promatranje okoline i globalni nadzor svih vozačkih zadataka. Nadalje, razine su određene ovisno o scenarijima u kojima je potrebna posebna raspodjela odgovornosti.

Nulta razina („*no automation*“) zapravo je manualna vožnja. U njoj automatizirani sustav izdaje upozorenja i može trenutno djelovati ukoliko je to potrebno.

U prvoj razini, koja se još naziva i „*hands on*“, sustav pomoći omogućava vozilu upravljanje ili ubrzavanje i kočenje, ali uz nadzor vozača. Primjer takvih sustava su tempomat i sustav za održavanje u traci.

U drugoj razini („*hands off*“) oba zadatka vožnje iz prethodne razine obavlja vozilo dok je vozač i dalje odgovoran za nadgledanje vožnje i mora biti pripravan intervenirati u bilo kojem trenutku ukoliko automatizirani sustav ne reagira pravilno.

U trećoj razini („*eyes off*“) vozač može sigurno skrenuti pozornost sa zadataka vožnje jer vozilo upravlja svojom putanjom. Ovo vrijedi samo za jednostavne i dobro referencirane putanje i zato vozač i dalje mora biti spreman za intervenciju u određenom trenutku.

U četvrtoj i petoj razini autonomnosti vozila, zadaće vozila uključuju operativne (upravljanje, usporavanje, kočenje, ubrzanje i nadzor) i taktičke aspekte (promjena trake, skretanje, poštivanje prometnih znakova, reakcija na incidente situacija itd.). U četvrtoj razini („mind off“) za sigurnost se nikada ne zahtijeva pozornost vozača. Samovožnja je podržana samo u ograničenim prostornim područjima ili u posebnim okolnostima, a izvan ovih područja vozilo mora biti u mogućnosti samo prekinuti putovanje.

Peta razina („steering wheel optional“) ne zahtijeva vozačevu prisutnost. Također, u petoj razini koja se još naziva i razinom potpune automatizacije vozač mora samo odrediti određite i točke putovanja bez obzira na složenost scenarija.

Klasifikacija je prikazana u tablici 1. U njoj je prikazano svih šest razina s pripadajućim primjerom, mjestom gdje bi se koristila autonomna vozila te što učiniti u slučaju prestanka rada sustava autonomne vožnje (autonomna vozila su u tablici prikazana kao AV radi bolje preglednosti) .

Razine	Tip automatizacije	Primjer	Mjesto korištenja	Prestanak rada sustava AV
Vozač upravlja svim ili dijelom zadataka vožnje				
0	Bez automatizacije	Automatizacija nije prisutna nigdje	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo
1	Vozačevo sudjelovanje	Prilagodljivi tempomat ili sustav održavanja u traci	Određene ceste	Vozač i dalje upravlja svim bitnim zadacima vožnje
2	Djelomična autonomnost	Prilagodljivi tempomat i sustav održavanja u traci	Određene ceste	Vozač i dalje upravlja svim bitnim zadacima vožnje
Sustavi autonomne vožnje upravljaju svim zadacima vožnje				
3	Uvjetna autonomnost	Automatizirana vožnja na autocestama	Određena područja i ceste	Vozač preuzima kontrolu nakon upozorenja
4	Visoka autonomnost	Automatizirana vožnja u centru grada	Određena područja i ceste	Sustavi autonomne vožnje sigurno zaustavljaju vozilo
5	Potpuna autonomnost	Automatizirana vožnja svugdje	Svugdje na cesti	Sustavi autonomne vožnje sigurno zaustavljaju vozilo

Tablica 1 razine autonomnosti [15]

2.3. Upravljački sustavi u autonomnim vozilima

Googleova vozila koja rade potpuno autonomno izvela su više od 500000 milja vožnje bez sudara koji se može pripisati automatizaciji. Temelj ovakvog stupnja razvoja su napredni senzori za prikupljanje informacija o okolini, sofisticirani algoritmi koji obrađuju podatke prikupljene od senzora i upravljaju vozilom i računalna snaga koja ih izvršava u stvarnom vremenu [9].

Skupovi senzora u kombinaciji mogu nadopuniti jedni druge i nadoknaditi sve slabosti u bilo kojem korištenom senzoru. Iako su robotski sustavi veoma dobri u prikupljanju podataka o okolini, razumijevanje tih podataka ostaje vjerojatno najteži dio razvoja iznimno pouzdanog autonomnog vozila.

Autonomna vozila koriste načelo „osjeti-planiraj-djeluj“ koje predstavlja temelj većine robotskih sustava. Vozilo najprije sa skupom senzorskih sustava koji posjeduje prikuplja podatke o vanjskom svijetu i vlastitoj okolini. Zatim, naprednim algoritmima obrađuje prikupljene podatke i prema tome izrađuje planove o odlukama koje treba donijeti. Ti se planovi mijenjaju u djelotvorne naredbe za upravljački sustav vozila. Navedene naredbe mogu biti vezane za upravljač, kočnice, tempomat ili sličan sustav. Može se istodobno izvršavati više petlji u spomenutom principu „osjeti-planiraj-djeluj“. Jedna petlja može pokrenuti iznimno visokom frekvencijom kočenje u nuždi, dok se druga petlja izvodi rjeđe i ona planira i izvršava složenije zadatke kao što je mijenjanje trake. U nekim slučajevima, komponenta planiranja u petlji je ekstremno kratka i načelo „osjeti-planiraj-djeluj“ se pretvara u načelo „osjeti-djeluj“. Na primjer, to se događa u incidentnim situacijama kada prikupljeni podaci pokažu da je prepreka na maloj udaljenosti ispred vozila i tada se automatski mora pokrenuti kočenje u nuždi. U ovom slučaju podaci iz senzora izravno pokreću naredbe za djelovanje automobila [1, 6].

Sa savršenom percepcijom koju im omogućava kombinacija prikupljanja podataka i njihova tumačenja, autonomna bi vozila mogla planirati i djelovati savršeno postižući visoku pouzdanost. Vozila se nikada ne umaraju, njihovi algoritmi planiranja mogu izabrati optimalno ponašanje u prometu i njihovo izvršavanje može biti brzo i besprijekorno jer im se ni u jednoj situaciji ne povećava vrijeme reagiranja, niti mogu pogriješiti u izvršavanju naredbe kao vozač.

U razumijevanju okoline kognitivne sposobnosti ljudi značajno nadilaze sposobnosti robota. Ljudske su oči toliko sofisticirane da pružaju sve podatke koje autonomnom vozilu pružaju skupovi senzora. Također, ljudi puno bolje tumače i razumijevaju dobivene vizualne

informacije. No, ljudski vid i spoznaja vizualnih informacija mogu biti opasno ograničeni u određenim situacijama kao što su nepovoljni vanjski uvjeti, umor i rastrojenost ili korištenje raznih opijata.

Arhitektura je upravljačkog sustava autonomnog vozila petog stupnja autonomnosti prema SAE klasifikaciji već definirana te je podijeljena u četiri dijela koja se sastoji od senzorskih sustava, klijentskih sustava, akcijskih sustava i korisničkih sustava [11].

2.3.1. Senzorski sustavi

Spomenuti senzorski sustavi sastoje se od više različitih senzora koji imaju zadatak prikupljanja podataka iz okoline vozila u stvarnom vremenu. Podaci koje senzori prikupe koriste se za percepciju, planiranje rute, izračunavanje udaljenosti od prepreka ili za navigaciju. Senzori kod upravljačkih sustava autonomnih vozila mogu se podijeliti u dvije grupe i to na senzore kratkog dometa i senzore srednjeg, odnosno dugog dometa. Senzori kratkog dometa su ultrazvučni senzori, kapacitativni senzori ili infracrveni senzori dok su senzori dugog dometa RADAR, LIDAR, računalni vid i GPS.

LIDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) sustavi određuju udaljenosti do prepreka pomoću lasera koji emitiraju svjetlosne zrake i izračunavaju vrijeme potrebno da se vrati refleksija od objekata u okolini [1, 4, 6]. Sastoji se od laserskoga uređaja velike preciznosti koji može precizno očitavati čak i u iznimno nepogodnim vremenskim uvjetima. On osvjetljava česticu nekog objekta sa laserskim svjetlom, mjeri vrijeme potrebno da se signal reflektira i na taj način izračunava udaljenost od danog objekta ili čestice. Prilikom prepoznavanja objekta LIDAR stvara detaljnu trodimenzionalnu mapu terena pomoću koje vozilo može razlikovati različite objekte (automobile, kamione, bicikle, itd.) i ovisno o tome reagirati na odgovarajući način. Nedostatak im je što su manje korisni na velikim dometima i loša refleksija na određenim materijalima [4, 12].

Za razliku od LIDAR sustava, RADAR (eng. *Radio Detecting and Ranging*) koristi radio valove. Oni dobro percipiraju metalne objekte, ali nemetalni su objekti za njih nevidljivi. U autonomnom su vozilu radari postavljeni po cijelom vozilu tako da pokrivaju čitavo prednje područje ispred njega te funkcioniraju tako da šalju ultrakratke elektromagnetske valove koji se mogu reflektirati od krute površine (npr. stražnjega dijela drugog vozila) i šalju se natrag [12, 13]. Nakon što radar zaprimi reflektirani signal on dobije informaciju koliko je zapravo

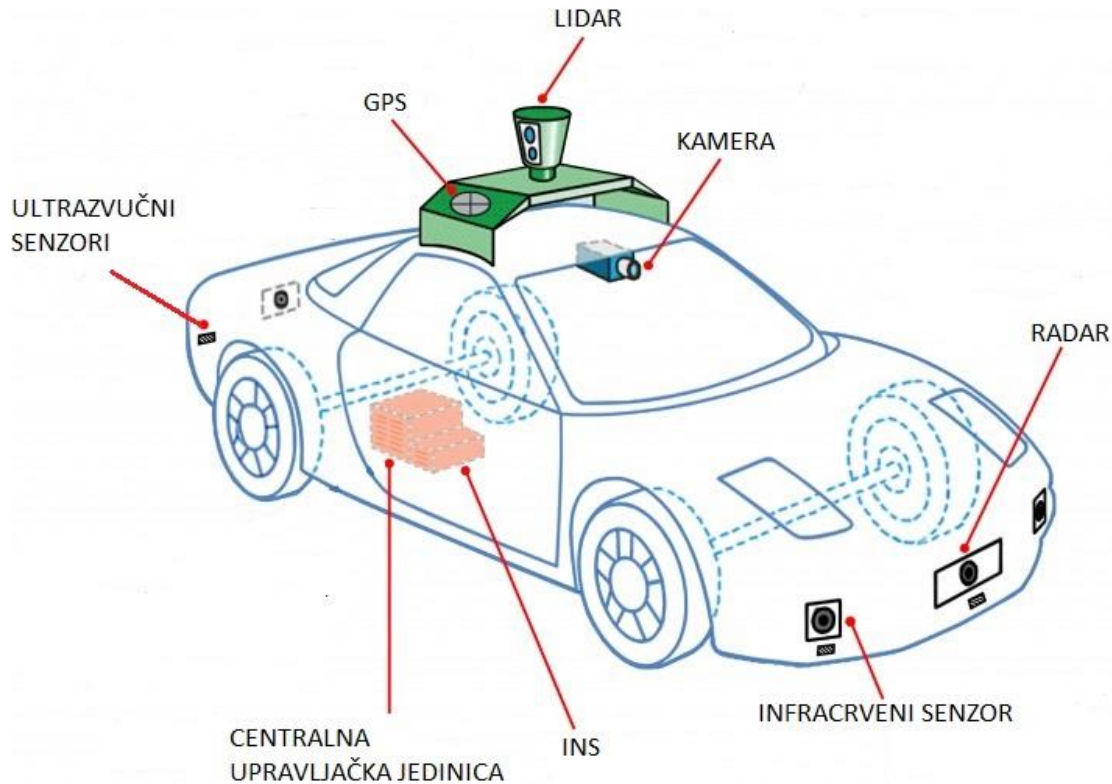
objekt ili prepreka udaljena od radara i koliko se brzo kreće te time prati brzine drugih vozila koja ga okružuju u stvarnom vremenu [14].

Računalni vid znanstvena je i tehnološka disciplina koja se bavi teorijom i izradom samog sustava koji služi dobivanju informacija iz slika, bilo to iz jedne ili više fotografija, video uradaka ili određenih medicinskih uređaja. Uz to cilj računalnog vida je prepoznavanje objekata, praćenje objekata, detekcija unaprijed zadanih događaja, rekonstrukcija slike i sl. [12]. U autonomnim vozilima koristi se osam ili više kamera koje služe za prepoznavanje objekata, praćenje putanje u voznoj traci, svjetlosnih signala i sličnih ulaznih podataka. Kamere su jeftine, ali ne funkcioniraju u posebnim vanjskim uvjetima i uz napredne algoritme koji obrađuju podatke vjerojatno nikad neće moći percipirati vizualne informacije kao ljudsko oko [4, 14].

Vozila također koriste sustave senzora za lokalizaciju, to jest određivanje vlastitog položaja u svijetu. Za nju je ključno korištenje Globalnog sustava pozicioniranja (eng. Global Positioning System - GPS). GPS sustavi vozila primaju signale sa orbite satelita koji orbitiraju oko triangulacije njihovih globalnih koordinata. Te su koordinate umrežene s mapama cestovne mreže kako bi se vozilima omogućilo prepoznavanje njihovog položaja na cestama [4, 12, 13]. Uz GPS se obično koristi i inercijalni navigacijski sustav (eng. Inertial Navigation System - INS) kako bi se umanjila greška pri lokalizaciji. INS se sastoji od žiroskopa i akcelerometara, radi kontinuiranog izračuna položaja, orijentacije i brzine vozila [1].

Ultrazvučni senzori mogu pružiti precizne podatke kratkoga dometa, a infracrveni senzorski sustavi mogu otkrivati oznake traka bez osvjetljenja i pješake po noći [13, 14]. Svaki od spomenutih senzora pruža različite vrste podataka, ali ima vlastita ograničenja koji se odnose na vidno polje, radne uvjete okoline i elemente u okruženju koje može osjetiti.

Na slici 1. jasno je označena lokacija svakoga od navedenih senzora.



Slika 1 Prikaz senzora na autonomnom vozilu [15]

2.3.2. Klijentski sustavi

Mozak autonomnoga vozila klijentski je sustav koji ima zadaću obrade svih prikupljenih podatka te izdvajanja najvažnijih informacija kako bi se interpretirala okolina, odredio položaj samoga vozila, te isto tako odlučilo o sljedećim koracima u vožnji.

Percepcija ili interpretacija okoline se sastoji od triju dijelova: pozicioniranja, detekcije i praćenja [14]. Kako bi se sve to realiziralo mora se napraviti spoj ili "fuzija" podataka primljenih od različitih senzora. Spoj se prikupljenih podataka izvodi preko algoritama koji rade na trima različitim razinama: niskoj, srednjoj i visokoj. Tek na srednjoj razini dolazi do glavne fuzije senzorskih podataka, a na visokoj se razini razmatraju različite donesene odluke bazirane na podacima pojedinog senzora i na temelju njih se stvara konačna odluka koja se šalje akcijskom sustavu na realizaciju [12].

2.3.3. Akcijski sustavi

Akcijski sustavi predstavljaju mehaničke dijelove autonomnoga vozila (npr. upravljač, kočioni i pogonski sustavi) koji zapravo i izvode naredbe koje su zaprimljene od klijentskoga sustava te usmjeravaju autonomno vozilo.

2.3.4. Korisnički sustavi

Korisnički su sustavi kombinacija hardvera i softvera koji omogućuju korisniku autonomnoga vozila da komunicira s njim u stvarnom vremenu. Interakcijom s korisničkim sustavom putnik može dobivati informacije o kvaliteti, performansama vožnje te također može zatražiti od autonomnog vozila da obavlja određene zadatke unoseći zahtjeve [4, 12].

Elementi se korisničkoga sustava sastoje od pokazivača koji daju informaciju korisniku o ruti vozila ili sljedećim radnjama koje namjerava izvršiti. Putnici dobivaju informacije o okolini autonomnoga vozila te druge oblike informacija vezane za uvjete unutar vozila kako bi se korisnik osjećao ugodnije i samopouzdanije prilikom njegovog korištenja [4, 15]. Moderni koncepti korisničkog sustava autonomnoga vozila namjeravaju ukloniti standardne elemente kao što su volan, pedale i mjenjač, zamijeniti ih jednim velikim ekranom koji će pokazivati informacije o okolini te će samo dopuštati korisniku da ga pokrene, zaustavi i unese željenu rutu. Sve bi druge interakcije sa sustavima zabave ili informacijskim sustavima bile izvođene preko mobilnog uređaja [4].

2.4. Komunikacija

Kako bi se postigao njihov puni potencijal autonomna vozila trebaju biti kooperativna. U tom pogledu, i komunikacija između vozila i infrastrukture (eng. *Vehicle to Infrastructure* - V2I) i vozila među sobom (eng. *Vehicle to Vehicle* - V2V) igrat će glavnu ulogu u kooperativnosti autonomnih vozila. Također, V2X (eng. *Vehicle to Everything*) ili komunikacija između vozila i svega što ga okružuje a može mu pružiti informacije, postaje značajna posljednjih godina [4, 15].

V2I komunikacije su neophodne za upravljanje prometom i koordinaciju autonomnih vozila. Nadzorni sustavi instalirani na infrastrukturi moraju prikupljati globalne i lokalne podatke o stanju u prometu, uvjetima kolnika i slično. Nakon što se ti podaci analiziraju u

stvarnom vremenu (u centru za upravljanje prometom ili u oblaku), koriste se u osnovnim modelima protoka prometa te se specifične radnje primjenjuju na određenoj grupi vozila. Bez obzira na postojanje aktivnih strategija upravljanja prometom korištenjem stvarnovremenskih informacija, današnje naznake pokazuju da bi takve informacije trebale biti priopćene putem semafora ili varijabilnih znakovnih poruka, a njihova razina ispunjenosti ovisi o vozačevim odlukama [15, 16]. Ovakva će interakcija između infrastrukture i vozila značajno promijeniti buduće okruženje. U ovom novom kontekstu, informacije koje bi pružala infrastruktura bit će izravno prenesene na kontrole vozila pomoću bežičnih komunikacijskih sustava kratkoga dometa kako bi se optimizirale brzine, razmaci između vozila i slično. S druge strane, komunikacija između vozila (V2V) omogućava interakciju i suradnju među obližnjim vozilima bez intervencije centraliziranog entiteta. Autonomna vozila razmjenjuju informacije lokalno omogućujući koordinaciju njihovih procesa odlučivanja s ciljem 'glatkoga prometa'. U ovom su slučaju autonomna vozila ujedno i nadzorni elementi, a struktura upravljanja prometom je potpuno decentralizirana [1, 6, 15]. Upravljanje prometom će se oslanjati na fuziju podataka iz komunikacije vozila i infrastrukture i vozila međusobno. U svakom slučaju, uspostavljanje snažne i pouzdane infrastrukture vrlo je bitno.

Osim toga je potreban zajednički komunikacijski standard između uprava, proizvođača automobila i tehnoloških tvrtki kako bi se omogućile sve moguće interakcije. Komunikacije kratkoga i širokoga dometa trebale bi tvoriti takozvano „okruženje spojenih vozila“. Na primjer, u Sjedinjenim se Američkim Državama najviše truda posvećuje namjenskoj komunikaciji kratkog dometa (eng. *Dedicated Short-Range Communication* - DSRC). To je dvosmjerna bežična komunikacijska tehnologija kratkog do srednjeg dometa temeljena na IEEE 802.11p standardu, američkom protokolu *Wireless Access in Vehicular Environment* i TC-ITS europskom telekomunikacijskom standardu. Američka savezna komisija za komunikacije dodijelila je pojas 75 MHz u spektru od 5.9 GHz koji će se koristiti za ITS u svrhu sigurnosti vozila i aplikacija za mobilnost. Američke se vlasti potpuno oslanjaju na prikladnost DRSC-a za V2X komunikaciju [17].

Europska unija je 2008. godine odlučila koristiti frekvencijski pojas od 5.875-5.905 MHz isključivo za sigurnosne ITS aplikacije (35). Predložena je bežična komunikacijska tehnologija kratkog dometa, takozvani ITS-G5, evolucija standarda 802.11. u dobrim uvjetima domet mu doseže 1 km iako se 0,5 km smatra pouzdanim prosjekom [18]. ITS-G5 koristi ad hoc mrežnu topologiju (bez fiksne strukture) što znači da svi opremljeni agenti kao što su vozila, motocikli, bicikli i pješaci mogu izravno međusobno komunicirati bez potrebe prolaska podataka kroz

pristupnu točku ili baznu stanicu. S obzirom na tu mrežnu arhitekturu ne postoji superiorni entitet koji bi mogao upravljati situacijom preopterećenja [19]. EU radi na provedbi decentralizirane kontrole zagušenja komunikacija - DCC mreža. DCC je skupni naziv različitih tehnika kojima se pokušava izbjeći veliko opterećenje mrežnog kanala [20].

Osim ad hoc mreže bežične komunikacije kratkoga dometa također raste interes i za upotrebom mobilnih komunikacija za V2X interakcije. Za mobilne telefonske tvrtke kao i za neke proizvođače automobila 5G mobilne mreže bi mogle podržavati dodatne usluge istovremeno održavajući kvalitetu i sigurnost V2X komunikacije [4].

3. Temeljne značajke mogućeg utjecaja na cestovni promet i društvo

Autonomna će vozila zasigurno imati veliki utjecaj na transport i mobilnost, poboljšanje sigurnosti, smanjenje onečišćenja zraka, povećanje udobnosti i još mnogo toga o čemu će biti riječ u sljedećem poglavlju. Može se reći da su autonomna vozila osmišljena kako bi se pojačala paradigma o održivijoj budućnosti. Iako je ovaj pokret prvenstveno bio podržan samo od strane mladih ljudi brzo je dosegao upravnu razinu. Održivi je razvoj primjenjiv na sva polja ljudskoga života, ali također i na promet te mobilnost za koje se smatra da su neodrživi zbog visoke razine zagušenja i onečišćenja koje stvaraju. Postoje brojni ekonomski, ali i praktični razlozi zbog kojih briga za održivost svakodnevno potiče promjenu mišljenja.

3.1. Utjecaj na cestovni promet

U prošlosti su istraživanja o autonomnim vozilima bila usredotočena samo na vozilo kao prijevozno sredstvo, a utjecaji na prometnu učinkovitost, zagušenja i mobilnost su se praktički zanemarivali [1, 22]. S ciljem održivijeg razvoja osmislili su se novi servisi vožnje, povećala se mobilnost, a smanjilo vlasništvo vozila te se bitno mijenja prometna potražnja i sama sigurnost u vožnji [21].

3.1.1. Utjecaj na mobilnost

Automatizacija je učinila promjene u modelu vlasnik - automobil. Tradicionalno se mišljenje društva znatno izmijenilo i više se gleda upotreba vozila nego njegovo posjedovanje [4]. Ovu su bitnu promjenu prepoznali proizvođači automobila koji su sami uložili znatne napore u popularizaciji vlasništva automobila pa danas istražuju nove poslovne modele kao operateri mobilnosti. Ako se gleda iz perspektive pojedinca, u prijevozu je ključni cilj bolja amortizacija putničkih vozila dijeljenjem [2, 22].

Činjenica je da osobni automobili većinu svog životnog vijeka, čak 95% vremena, stoje parkirani. To je glavni razlog istraživanja i studija koje bi omogućile nove inovativne načine prijevoza pojedinca. Kao jedna od mjera izdvaja se dijeljenje automobila za koju je predloženo

više mogućnosti od kojih se značajno izdvajaju dva servisa. Prvi je servis mobilnost na zahtjev (eng. *Ride-hailing*) u kojemu se korisnici s približno istim rutama povezuju putem mobilne aplikacije ili web stranice kako bi podijelili vozilo. Vozilo koje se dijeli može pripadati nekome od putnika ili tvrtki koja upravlja sustavom. Primjer je BlaBlaCar koji je dostupan i u Hrvatskoj. Drugi servis ima drugačiji koncept i predstavlja sustav dijeljenja vozila u kojem se ne dijeli putovanje već se dijeli vozni park koji je dostupan za zajedničku upotrebu članovima zajednice [4, 21].

Dok se dvosmjerno dijeljenje automobila, odnosno dijeljenje kada se automobil mora vratiti na isto mjesto s kojeg je preuzeto, smatra najmom, jednosmjerno dijeljenje predstavlja novi koncept urbane mobilnosti. Različite konfiguracije sustava za jednosmjerno dijeljenje automobila već su stavljene u praksu [4, 22]. S jedne strane postoje stacionirane baze s kojih korisnici moraju pokupiti i ostaviti vozila unutar unaprijed određene stanice. Dok s druge strane postoji ograničeno uslužno područje na kojem korisnici mogu pronaći i napustiti vozila na bilo kojem dostupnom parkirnom mjestu. U objema je konfiguracijama rezervacija obično obavezna. Plaćanje se često vrši putem mobilne aplikacije ovisno o prijedenoj udaljenosti i vremenu zauzetosti vozila [21, 22, 23].

Iako se trenutno manje od 1% putovanja u Europi obavlja dijeljenjem vozila, očekuje se da će automatizacija vozila povećati njihovu upotrebu [4]. Upravna tijela smatraju da će dijeljenje vozila smanjiti vozni park što će izravno rezultirati smanjenjem zagušenja i zagađenosti okoliša kao i parkirališnih površina. Autonomna su vozila savršen kandidat za ostvarivanje ovih usluga jer zadovoljavaju sve navedene zahtjeve i od njih se očekuje da će biti sigurna, učinkovita, električna i autonomna [4, 21]. Autonomnost im omogućuje samopodjelu između regija. To uvelike pojednostavljuje rad i smanjuje troškove sustava jednosmjernoga dijeljenja vozila i mobilnosti na zahtjev. Njihova će visoka cijena spriječiti vlasništvo te se u tom kontekstu očekuje smanjenje vlasništva vozila u urbanim područjima [1, 4].

No, koliko god prednosti donosili spomenuti sustavi dijeljenja automobila s njima dolaze i značajni rizici. Glavni rizik je da postanu konkurencija javnom gradskom prijevozu ukoliko se dobro ne isplaniraju njihove cijene. Naime, zbog cjenovne bi se sličnosti neki korisnici javnoga prijevoza mogli odlučiti za sustave dijeljenja vozila zbog udobnosti, iako su oni generalno skuplji. To bi moglo značiti globalno povećanje troškova jer su sustavi javnog gradskog prijevoza učinkovitiji u područjima gušće mobilnosti i to bi davalo suprotan učinak od željenog održivog razvoja [21].

Vjerojatno će takva situacija biti izbjegnuta s mobilnosti kao uslugom (eng. *Mobility as a Service* - MaaS). To je rješenje mobilnosti koje nudi putne sekvence po mjeri na temelju individualnih potreba korisnika. Jedna mobilna aplikacija ili web stranica kombinira mogućnost prijevoza od javnih i privatnih pružatelja usluga, upravlja svime, od planiranja putovanja do plaćanja. Korisnici mogu plaćati po pojedinačnom putovanju ili mjesečnu naknadu danu za ograničenu udaljenost. To se može primijeniti na teretni prijevoz za koji se očekuje da će se pojaviti s automatizacijom vozila [1, 4, 21].

3.1.2. Utjecaj na prometnu potražnju

Kao što je već spomenuto, očekuje se smanjenje vlasništva nad vozilima u razvijenijim zemljama zbog visoke cijene autonomnih vozila i zbog uvođenja rješenja o dijeljenju ili mobilnosti na zahtjev. Zapravo, predviđa se pad voznog parka u Europskoj Uniji za 25% i u Sjedinjenim Američkim Državama za 22% do godine 2030. [21, 22].

Unatoč svemu navedenom smatra se da će automatizacija povećati prometnu potražnju za osobnim automobilima za 3-27% [4]. Razlog toga je smanjenje troškova prijevoza koje će rezultirati povećanjem broja kilometara prijeđenih automobilom po osobi u jednom danu.

Povećanje potražnje putovanja osobnim automobilom predstavlja značajan nedostatak ovih sustava koji se može smanjiti istodobnim povećanjem posječne zauzetosti autonomnih vozila. Istraživači predviđaju da će se broj putnika u vozilu povećati s uobičajenih 1.3 na 2.3 putnika po vozilu [22, 23].

Ostali razlozi koji utječu na povećanje prometne potražnje automobilom su rast globalnog stanovništva, širenje industrijskih i gradskih zona te neke inducirane potražnje. Autonomna će vozila proširiti korisnički spektar na nevozače, maloljetnike, starije osobe ili osobe s posebnim potrebama.

3.1.3. Utjecaj na upravljanje prometom

Unatoč uloženom trudu i naporima prometnih stručnjaka, zagušenja i dalje ostaju ozbiljan problem. To se posebice odnosi na velike gradove i industrijske zone. Suradnja između autonomnih vozila od presudne je važnosti za prometni sustav u eri autonomnih vozila jer je njegovo funkcioniranje nemoguće bez dijeljenja podataka [1, 4].

Automatizacija vozila u početku je bila usredotočena na sigurnost i udobnost putnika, dok se upravljanje prometom ostavljalo sa strane. Vožnja autonomnim vozilima dizajnirana je na temelju vrlo konzervativnih parametara. Na primjer, vremenski je razmak između vozila obično dvije sekunde, dok je za prosječnoga vozača to jedna sekunda ili manje. Vrijednosti prihvaćene za dizajn drugih parametara autonomnih vozila također doprinose oblikovanju znatno manje agresivne vožnje [4, 21]. Ovo očito doprinosi sigurnosti i udobnosti, ali posljedice za prometnu učinkovitost bile bi štetne. Osim toga, nekoordinirana autonomna vozila donosila bi 'sebične odluke'. Ona bi odabrala svoje rute, pojedinačne brzine, mijenjala trake i tako bi narušili učinkovitost prometne mreže. U tom kontekstu, istraživači predviđaju progresivno smanjenje prosječnog kapaciteta autoceste s povećanjem stope penetracije autonomnih vozila. Kapacitet autoceste mogao bi se smanjiti s uobičajenog od 2300 do 1700 vozila/sat/trak [1, 4, 22].

Naprotiv, promet bi mogao postati učinkovitiji ako autonomna vozila budu surađivala. Suradnja autonomnih vozila sastoji se od razmjene informacija s ciljem donošenja odluka iz globalne perspektive, dajući prednost performansama cijelog sustava nad dobrobiti pojedinca [1, 4]. Dokazano je da bi suradnja autonomnih vozila bila korisna i u miješanom okruženju. Stopa penetracije od 10% autonomnih kooperativnih vozila već bi značajno mogla dovesti do poboljšanja prometne učinkovitosti smanjujući ukupno vrijeme putovanja 30-40% s obzirom na istu potražnju bez kooperativnih autonomnih vozila [22].

Vrhunac ove učinkovitosti postiže se ako kooperativna autonomna vozila mogu činiti virtualne cestovne vlakove (eng. *Platoons*) u kojima voze s vrlo malim prostornim razmacima pri velikim brzinama kao da su fizički povezani [4]. Ovo ne bi samo rezultiralo s manjom zauzetošću prostora na cesti nego bi omogućilo i veće protoke bez ugrožavanja sigurnosti. Čak i se tehnološkim nedostacima sadašnjice dokazane su prednosti tih cestovnih vlakova na autocestama i brzim cestama. Namjenske trake za njih mogle bi biti korisne pod uvjetom da je najmanje 40% vozila autonomno i da mogu formirati virtualni cestovni vlak. Te bi trake mogli koristiti i ostali sudionici [4, 21, 23]. Odluke o aktiviranju i deaktiviranju namjenskoga traka treba obaviti u stvarnom vremenu ovisno o prometnim uvjetima. Potrebna su daljnja istraživanja u pogledu dinamičnog upravljanja prometom u prisustvu autonomnih vozila.

3.1.4. Utjecaj na sigurnost

Prema EU GEAR 2030 *High Level Group* koja se bavi ključnim trendovima i izazovima europske automobilske industrije, 90% prometnih nesreća uzrokovano je ljudskom greškom [24]. Dakle, autonomna bi vožnja trebala uvelike pridonijeti smanjenju prometnih nesreća i smrtnih slučajeva. Iako se očekuje značajno poboljšanje sigurnosti s implementacijom autonomnih vozila, većina stručnjaka prepoznaje da je previše ambiciozno i optimistično pretpostaviti da se neće dogoditi niti jedna nesreća. Neizbježno je stvaranje vrlo složenih situacija u kojima autonomna vozila neće moći izbjeći nesreće [1, 2, 4]. Postoje i mišljenja da će poboljšanja sigurnosti autonomnih vozila biti zanemariva zbog ljudskog faktora ili kvara hardvera i softvera. Također, porast u ukupnim prijeđenim kilometrima podrazumijeva veću izloženost riziku pa čak ako se stopa nesreća smanjuje ukupan bi broj nesreća mogao malo varirati.

Unatoč prethodnim argumentima treba imati na umu da će autonomna vozila supostojati i putovati zajedno s tradicionalnim vozilima dulje vremensko razdoblje. To znači da se tijekom ovoga razdoblja nesreće neće događati samo zbog autonomnih vozila nego i zbog nesigurnosti i poremećaja izazvanih nesavršenim ponašanjem ljudskih vozača. U tom se kontekstu u procjenu sigurnosne učinkovitosti takvih vozila mora razmotriti i interakcija s tradicionalnim vozilima [1, 2, 4].

3.2. Utjecaj na društvo

Najvećom će preprekom uvođenja autonomnih vozila, pretpostavlja se, biti njihova prihvaćenost od samoga društva. Postoje brojne prednosti koje će takva vozila donijeti društvu, ali oni pokreću pitanja vezana uz socijalne implikacije autonomnih vozila. U ovom će poglavlju biti objašnjeni glavni utjecaji uvođenja autonomnih vozila na društvo kao i njihove prednosti te spomenute implikacije koje dolaze s njima.

3.2.1. Ekonomski utjecaj

Očekivani pozitivni utjecaj automatizacije vozila na ekonomičnost uglavnom su posljedica dvaju glavnih razloga. Prvi je smanjenje troškova prijevoza, a drugi smanjenje

vrijednosti putovanja. Drugi je vezan za mogućnost korištenja vremena putovanja za obavljanje drugih zadataka, a moći će se odvijati samo u vozilima sa SAE5 razinom autonomnosti [1]. Smanjenje troškova prijevoza dogodit će se zbog utjecaja autonomnih vozila na ekonomičnost, a uslijedit će boljom amortizacijom vozila zbog njihove intenzivnije upotrebe dijeljenjem, nižim troškovima osoblja zbog automatizacije zadataka vožnje, smanjenjem potrošnje energije i kraćim vremenom putovanja zbog učinkovitijeg upravljanja prometom i eliminacije potrebe za putovanjem u vozilu dok tražite parking. Kao rezultat toga, povećat će se točnost i smanjiti stres kod radnika, a samim će time porasti produktivnost [2, 4]. Zaključno, manji će troškovi prijevoza koristiti ekonomskoj konkurentnosti društva.

3.2.2. Utjecaj na tržište rada

Što se tiče tržišta rada, od automobilske se industrije očekuje da će se baviti smanjenjem voznoga parka na područjima kao što su Sjedinjene Američke Države ili Europska Unija poticanjem kontinuiranog obnavljanja flote i diverzifikacije njihovih poslovnih aktivnosti [2]. Buduća dijeljenja autonomnih vozila koristit će se intenzivnije, što će im vjerojatno skratiti životni vijek. Brže zastarijevanje tehnologije također će pridonijeti češćem obnavljanju. Suprotno tome, manji će broj nesreća djelomično nadoknaditi ovo skraćenje. Moguće je i da pored manje flote vozila broj registracija po godini poraste. Po najnovijim procjenama povećanje će broja registracija u EU ići na 34%, a u SAD-u na 20% u godini 2030. Pretpostavlja se da će se u Kini povećati i vozni park i broj registracija zbog povećanja stope stanovništva i procesa urbanizacije [2, 4, 25].

Pored toga automobilska industrija ima za cilj ima postati globalni operater mobilnosti, a ne samo biti proizvođač automobila.

Autonomna će vozila neizbježno utjecati na tržište rada. Tradicionalni će poslovi u sektoru prijevoza, očekuje se, nestati. Međutim, pretpostavlja se i da će se pojaviti nove prilike vezane za nove tehnologije, optimizaciju, analizu velikih podataka, prometni inženjering, planiranje transporta, itd. [2, 4, 26].

Kada se govori o mišljenju ljudi o autonomnim vozilima pretpostavlja se da će biti pozitivno zbog sigurnosti i udobnosti koje oni nude. Međutim, mišljenja nisu toliko pozitivna kada se ljudi izravno pitaju bi li se osjećali ugodno putujući u autonomnom vozilu. Prema istraživanju provedenom u godini 2015. u Europi s 23 države članice, 61% Europljana bi se

osjećalo nelagodno. S druge strane, 21% bi bilo sigurno. Većina Europljana (51%) bi se osjećalo nelagodno čak i kada je u pitanju prijevoz tereta autonomnim vozilom [2, 4].

Prihvaćenost autonomnih vozila kod laika najčešća je u slučajevima kada je mobilnost pojedinca ograničena. Nevozači, ljudi s posebnim potrebama ili najmlađi i najstariji pripadnici stanovništva relativno su zainteresirani za korištenje autonomnih vozila. Zapravo, napredne tehnologije u vozilu već su produžile razdoblje preko kojeg starije osobe mogu voziti sigurno i udobno [4, 21]. Na kraju, treba uzeti u obzir da na implikacije autonomnih vozila vezane za privatnost i izmjenu tržišta rada negoduju uglavnom sredovječni i stariji ljudi.

3.2.3. Utjecaj na sigurnost

Iz sigurnosne perspektive stručnjaci upozoravaju da je komunikacija autonomnih vozila i V2X je općenito ranjiva na maliciozne hakerske napade. Maliciozan softver (eng. *Malware*) bi se mogao masovno proširiti i zaraziti mnoga povezana vozila odjednom. Na primjer, namjerno bi se mogla izmijeniti percepcija okoline vozila. Manje opasno bi bila upotreba ucjenjivačkog softvera (eng. *Ransomware*) za blokiranje vozila dok vlasnici ne plate otkupninu. Uprave ozbiljno shvaćaju te rizike te je Velika Britanija nedavno izdala osam načela kibernetičke sigurnosti za proizvođače automobila. Oni traže redundantne sustave vozila kako bi bili otporni na napade. Vozila moraju biti u stanju odgovarajuće reagirati u slučaju napada tijekom svog cijelog životnog vijeka. Nulti rizik ne postoji ni u ovom slučaju [1, 2, 25]. Prihvaćena bi razina rizika trebala biti ona koja minimalizira ukupne troškove znajući da je kvantifikacija tih troškova više političko nego tehničko pitanje [2].

Raste i briga oko načina na koje bi autonomna vozila programirali 'algoritme sudara' kako bi se odgovorilo tijekom neizbježnih nesreća. Zbog 'nedostatka krivice' štete koje autonomna vozila uzrokuju u nesrećama ne mogu se ocjenjivati subjektivno što zahtijeva pravila za upravljanje reakcijama autonomnih vozila na moralne dileme [27]. Međutim, nejasno je kako doći do ovih pravila. Algoritmi se mogu programirati tako da prioritet daju sigurnosti putnika u vozilu nad bilo čim što osigurava ekonomsku održivost razvoja autonomnih vozila, ali koristeći pojedinačni osobni interes korisnika kao osnovu za opravdanje nanesene štete potkopavaju same funkcije zakona [2, 27]. Suprotno tome, algoritmi se mogu programirati za postizanje najkorisnije društvene odluke na temelju raspona čimbenika, ali kako do njih doći, još uvijek nije posve jasno [2].

U Europi je testiranje autonomnih vozila zakonski dopušteno, ali je strože nego u ostatku svijeta zbog toga što Europa stavlja naglasak na zaštitu građana od tehnoloških rizika. Obično je testiranje ograničeno na privatne ulice i unaprijed definirane rute ili je ograničeno vrlo malim brzinama. Na razini Europske Unije i na nacionalnoj razini, europske vlade još uvijek vrše evaluaciju implikacija autonomnih vozila prije uspostavljanja stalnih propisa. Cilj je razviti jedinstvenu strategiju za reguliranje autonomnih vozila obilježenu Amsterdamskom deklaracijom u godini 2016., pristajući na sastanke dva puta godišnje kako bi dijelili najbolje prakse, pratili napredak i surađivali na svim razinama regulacije [28].

3.2.4. Utjecaj na odgovornost

U većini uobičajenih automobilskih nesreća vozač zadržava određenu kontrolu nad vozilom i na taj način preuzima glavnu odgovornost za sudbinu vozila dok u autonomnim vozilima osobe nisu više u kontroli [29]. Dio ili cijela odgovornost će se prebaciti na autonomna vozila jer nesreće postaju više pitanje sigurnosti i efikasnosti proizvoda. Stoga će se treće strane koje su uključene u dizajn sigurnosnih sustava na autonomnim vozilima suočiti s većom ranjivosti koje uključuju odgovornost za proizvode [2]. Nejasno je kako će se odgovornost rasporediti između autonomnih sustava i čovjeka kao vozača.

Ne postoji jasan zakonski okvir koji opisuje kako se odgovornost raspodjeljuje između trećih osoba odgovornih za projektiranje sustava autonomnih vozila. Proizvođači su sve osjetljiviji na rizike reputacije koje nameću nesreće povezane s neuspjehom u dizajnu i proizvodnji [30]. Postojeći zakonski okviri također ne definiraju praktične i moralne odgovornosti softverskih programera u dizajniranju „algoritama za sudar“ koji određuju odluke o životu ili smrti, izazivajući brojne zabrinutosti zbog implikacija autonomnih vozila na etički aspekt javnosti [2, 30].

Raspodjela odgovornosti i odgovarajući učinci na troškove osiguranja trenutačno su nepoznati. Ozlijeđene treće strane mogu pribjeći tužbi proizvođača ili pružatelja softvera ako odgovornost pripada autonomnom sustavu. Dugoročno gledano, rizici povezani s visokom odgovornošću mogu oslabiti poticaj proizvođača za inovacije, usporavajući daljnja poboljšanja sigurnosti za korisnike autonomnih vozila [2, 30].

Europska unija nije izmijenila svoj pravni okvir kako bi uključila odgovornost koja se odnosi na odgovornost i rizike osiguranja vezanih za autonomna vozila, ali istražuje rješenja

vezana za to pitanje. Europska je komisija godine 2016. pokrenula program GEAR 2030 za istraživanje rješenja za uvođenje autonomnih vozila. U svibnju godine 2016. članovi su preporučili Europskoj komisiji stvaranje obveznog osiguranja i pratećeg fonda za zaštitu pune naknade žrtvama nesreća izazvanih autonomnim vozilima te stvaranje zakonskog statusa svim robotima za utvrđivanje odgovornosti u nezgodama [30].

3.2.5. Utjecaj na privatnost

Autonomna se vozila oslanjaju na senzore, karte visoke razlučivosti i druge instrumente iz kojih prikupljaju i optimiziraju podatke kako bi se osigurao siguran rad vozila. No, pojavljuje se zabrinutost u vezi s tim tko kontrolira te informacije i kako su one korištene [25]. Mnogo problema vezano s informacijskom privatnošću ostaje nejasno: točni razlozi zbog kojih se informacije prikupljaju, vrste informacija koje se prikupljaju, dostupnost informacija i dopušteno trajanje skladištenja podataka [31]. V2V i V2I komunikacija omogućavaju prijenos informacija između autonomnih vozila iz sigurnosnih razloga, ali također otkrivaju kretanja i zemljopisni položaj vozila do vanjskih mreža odakle korisnici mogu pristupiti pronalasku korisnika autonomnog vozila [2, 31].

Europska je unija poduzela korake za upravljanje rizicima privatnosti i kibernetičke sigurnosti koji se primjenjuju na sve podatke u regiji demonstrirajući strategiju orijentiranu na kontrolu. Akcijski plan Inteligentni transportni sustavi (eng. *Intelligent Transport Systems - ITS*) izdan od strane Europskoga parlamenta godine 2009. naglasio je potrebu zaštite osobne privatnosti od ranih faza osmišljanja inteligentnih transportnih sustava, a Europska je komisija objavila studiju godine 2012. ocjenjujući moguće metode osiguranja zaštite podataka u ITS-u. *EU General Data Protection Regulation* (EU GDPR) je direktiva o zaštiti osobnih podataka ratificirana godine 2016.. Njeni se propisi primjenjuju na sve tvrtke koje obrađuju podatke od subjekata s prebivalištem u Europskoj Uniji bez obzira na mjesto tvrtke proširujući kontrolu nad podacima preko geografskih granica [2].

3.2.6. Utjecaj na kibernetičku sigurnost

Prijetnje kibernetičke sigurnosti konvencionalnim vozilima s automatiziranim značajkama već postoje. U brojnim istraživanjima ističe se da ljude najviše brine hakiranje

softvera i značajki vezanih za automatizaciju. Hakeri bi mogli preuzeti kontrolu nad vozilima putem bežičnih mreža (kao što su Bluetooth, sustavi za ulazak bez ključa, mobilnih ili ostalih veza) jer se automobil povezuje s okolinom [32]. Svojom sposobnošću za pohranu i prijenos podataka, autonomna vozila su atraktivne mete za hakere jer takve informacije mogu prodati zbog financijske dobiti. Također, takvi se sustavi mogu koristiti za nanošenje tjelesnih ozljeda od strane ekstremista ili se mogu koristiti u ilegalne svrhe trgovcima drogom [25, 32].

Različite studije analizirale su moguće prijetnje kibernetičke sigurnosti autonomnim vozilima jer računala posjeduju veću kontrolu nad kretanjem vozila. Autonomna su vozila osjetljivija na hakiranje nego konvencionalna vozila te vozač ima manje mogućnosti za intervenciju tijekom napada [32]. Bez dovoljno sigurnosti mogu biti hakirani V2V i V2I komunikacijski kanali što može dovesti do ozbiljnih nesreća. Ubrizgavanje lažnih poruka i umetanje lažnih podataka o lokaciji neke su od glavnih prijetnji s kojim se suočavaju autonomna vozila [25, 26].

Većina vlada je razvila neobavezne smjernice o najboljim praksama i istraživanjima kibernetičke sigurnosti kako bi se istražile posljedice autonomnih vozila. Europska je unija poduzela postupne korake za kontrolu rizika kibernetičke sigurnosti tijekom posljednjih nekoliko godina iako nisu specifični za autonomna vozila. EU strategija kibernetičke sigurnosti je uvedena godine 2013. nakon koje je uvedena Direktiva o sigurnosti mreža i informacijskih sustava u godini 2016. [2].

3.2.7. Teritorijalni utjecaj

Odnos između korištenja zemljišta i prijevoza je neupitan. Mobilnost pojedinca tradicionalno je doprinijela urbanom rastu i razvoju. U godini 2008. više je od 50% svjetskoga stanovništva živjelo u gradovima i očekuje se da će se taj postotak povećati na 70% do godine 2050. Gradovi se šire zbog kombiniranog učinka sve veće naklonosti ljudi, promjena u načinu života i smanjenju troškova prijevoza [4]. Nisu sve posljedice urbanoga razvoja pozitivne. Mnogi su gradovi iznimno zagušeni i zbog toga čak 75% antropogenih stakleničkih plinova dolazi od gradova. Uvođenje autonomnih vozila u urbane sredine mora se sagledati s globalne perspektive. Tu se moraju uzeti u obzir gustoća naseljenosti, urbani oblici i upotreba zemljišta tako da novi uzorci mobilnosti dobiveni iz automatizacije vozila pružaju željenu dostupnost uz promicanje održive upotrebe teritorija [1, 25].

Učinci urbanog širenja kao rezultat uvođenja autonomnih vozila mogu se smanjivati sve dok planeri razvijaju nacрте koji ostavljaju dovoljno mjesta za zelenilo, slobodno vrijeme ili poljoprivredna područja [26]. U tom bi pogledu autonomna vozila mogla smanjiti potražnju za dnevnim parkiranjem u gradovima ne samo zato što će se smanjiti vozni park, nego i zato što će se parkirališta moći premjestiti u periferije. Prometni tokovi praznih autonomnih vozila koji voze iz gradska središta do dnevnih parking mjesta podrazumijevala bi neke troškove u smislu zagušenja, potrošnje energije, itd. Pozitivni učinci automatizacije na teritoriju podliježu održivijim obrascima mobilnosti u kojima bi pojedinci uglavnom trebali nastojati dijeliti vozila s većim brojem putnika [1, 4, 25].

3.2.8. Ekološki utjecaj

Ekološki utjecaji prijevoza koji se odnose na lokalnu kvalitetu zraka i globalno zagrijavanje uzrokuju najviše zabrinutosti. Cestovni promet najviše onečišćuje zrak prije svega zbog uporabe fosilnih goriva kao energetske resursa. Zbog toga su napori usredotočeni na upravljanje prometom i energetske učinkovitost vozila. Iako se očekuje da će autonomna vozila povećati broj prijeđenih kilometara po jedinici vremena svejedno bi mogla doprinijeti značajnim ekološkim poboljšanjima s obzirom na to da će biti električna i da će voziti učinkovito.

Električni su motori zamijenili benzinske kao posljedica društvenih briga za okoliš. Električna vozila proizvode nula emisija dok se koriste i manje su bučni od klasičnih vozila na gorivo. Iako praktički nisu ni postojala godine 2011., broj električnih vozila 2016. dosegao je dva milijuna od kojih je 750,000 bilo potpuno električnih. Očekuje se da će 55% novih vozila u godini 2030. u Europi biti potpuno električno, a 40% će biti hibridi [25].

Automatizacija vozila će čak pospješiti prodor električnih vozila na tržište jer će vozila na SAE4 i SAE5 razini autonomnosti uglavnom biti električna. Međutim, za postizanje tog cilja mora se riješiti nekoliko pitanja kako bi se postigla generalizirana uporaba električnih vozila [1, 25]. Jedan je od glavnih problema povećanje anksioznosti zbog ograničenog kapaciteta baterije. Iako je problem tehnološki riješen i automobilske baterije imaju doseg od 600 do 700 kilometara, njihove visoke cijene čine vozila nepovoljnima za mnoge vozače. Očekuje se da će se ova situacija promijeniti u kratkom roku što potvrđuje podatak da su cijene litijskih baterija pale za 77% u prosjeku od godine 2010. Drugi problem predstavlja nedovoljan broj punionica.

U tu svrhu većina uprava osmišljava investicijske planove za njihovo raspoređivanje zajedno s mrežama stanica za punjenje koje razvijaju proizvođači osobnih automobila. Zapravo, broj stanica za punjenje se povećao za 72% po cijelom svijetu od godine 2015. U razvoju su također i bežične punionice [4].

Očekuje se da će cijene električnih vozila opadati zajedno s njihovom stopom penetracije. Kad trošak nabave više ne bude prepreka, troškovi održavanja i operativni troškovi bit će važniji za kupce. Što se tiče troškova održavanja električnih vozila, baterije su skupe i moraju se zamijeniti svako 150,000 kilometara. Preostali su troškovi za 35% niži nego kod tradicionalnih vozila. Sve u svemu, električna vozila približno povećavaju troškove održavanja za 28%. S druge strane, operativni troškovi kao što su potrošnja energije i naknade za osiguranje povoljniji su kod takvih vozila. No bez obzira na to bit će potrebno donijeti nove zakone kada električna vozila postanu konkurentnija na tržištu [1, 4].

Uvođenje električnih vozila uzrokovat će globalno planiranje opskrbe energijom. Potreba za električnom energijom biti će ogromna u budućnosti. Trenutna će opskrba energijom biti nedovoljna i cijene bi joj mogle rasti. Kapacitet skladištenja energije električnih vozila mogao bi koristiti za izjednačavanje potražnje i ublažavanje ovoga utjecaja. Osim toga, proizvodnja baterija će znatno rasti, a dostupnosti kobalta, litija i ostalih srodnih materijala po prihvatljivoj cijeni morat će se osigurati. Kako bi se izbjeglo onečišćenje okoliša mora se poticati recikliranje baterija [33].

Plin je alternativa električnoj energiji za pogon vozila. Komprimirani prirodni plin (eng. *Compressed Natural Gas* - GNC) i bioplin čine većinu trenutnog tržišta u ovom sektoru. Većina proizvođača automobila već nudi modele s pogonom na plin iako vozila i dalje zadržavaju spremnik za benzin. Za ove se modele govori da imaju tišu i mekšu vožnju održavajući svoju snagu i performanse. Motori traju dulje, a potrebe za održavanjem su smanjene. Osim toga, jedan kilogram komprimiranog prirodnog plina ima jednaku energetska učinkovitost kao 1.5 litra benzina, a ekonomske su i ekološke koristi zamjetne. Jedan od glavnih nedostataka vozila na plin su potreba za prostorom za drugi spremnik koji se obično nalazi ispod dna prtljažnika. To je povezano s trenutnim nedostatkom crpki za plin što čini nužnim rezervoar za benzin [4, 33]. Unatoč prednostima vozila na plin oni se uglavnom vide kao srednji korak ili dodatak električnih vozila koji su u primarnom fokusu.

4. Prijedlog metodologije analize spremnosti cestovne infrastrukture

Budući da su autonomna vozila u relativno ranoj fazi razvoja postoje mnoge nepoznanice kada će doći do njihove široke upotrebe. Među pobornicima autonomne tehnologije taj je vremenski raspon širok od nekoliko godina od sada do 40 ili više godina.

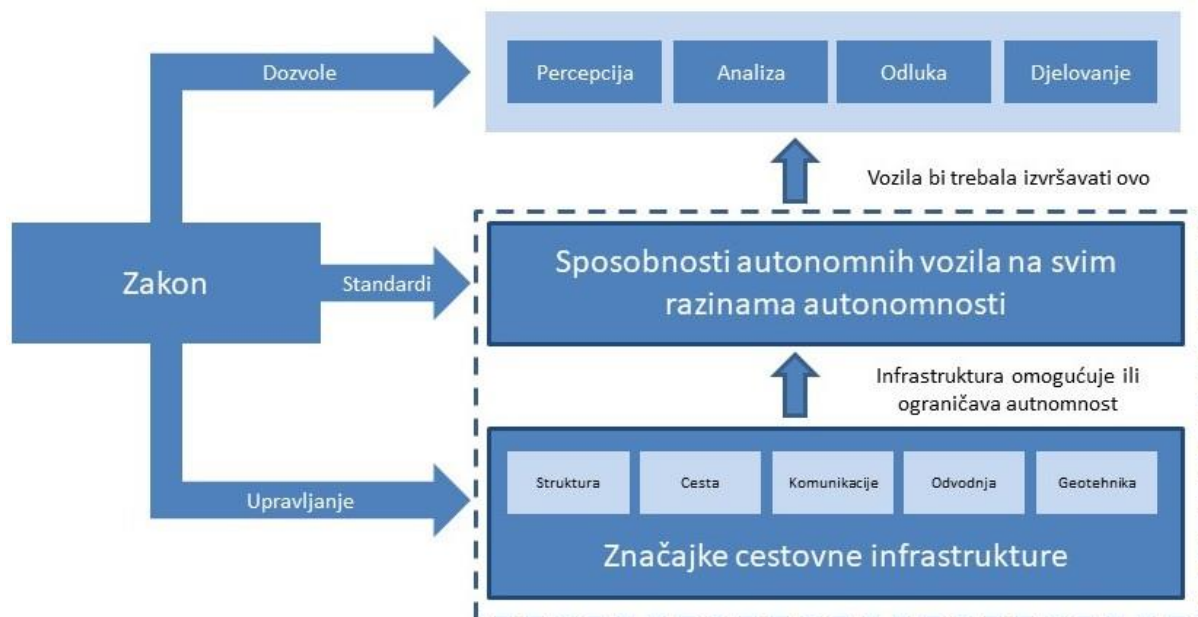
Čini se da u javnom i privatnom sektoru postoje dvije konkurentne strategije što se tiče uvođenja autonomnih vozila. Prva strategija zalaže se za to da vozila budu potpuno autonomna i neovisna te da će moći surađivati s postojećom infrastrukturom ili njezinom pojednostavljenom verzijom. Druga strategija zagovara autonomna vozila koja su potpuno autonomna samo ako to cestovna infrastruktura dopušta i imaju mogućnost prelaziti s jedne razine autonomnosti na drugu [34].

Postoje mnoge inačice ovih dvaju osnovnih pristupa. Jedna od mogućnosti je da autonomna vozila budu fizički odvojena od ostalog prometa i sudionika u njemu. Druga je inačica da autonomna vozila zadrže neautonomne mogućnosti tako da vozač može preuzeti kontrolu u mješovitom prometu ili gradskim područjima. Nijedna od dviju navedenih strategija ne uzima potpuno u obzir stanje, održavanje, obnovu i konfiguraciju cestovne infrastrukture ili povezana kapitalna ulaganja, operativne troškove i rizike za ostale sudionike u prometu [34, 35].

Donositelji zakona morat će izabrati između toga hoće li vozilo biti glavno ili će vozač biti glavni. U slučaju kada je vozilo glavno mogu i ne moraju postojati kontrole za vozača kako bi preuzeo vožnju u određenim uvjetima. U drugom je slučaju vozač glavni i autonomni su sustavi tu da pomognu u incidentnim ili posebnim situacijama [1].

4.1. Metodologija

S obzirom na veliki broj istraživanja izrađenih o autonomnim vozilima prvi korak je bio razraditi obrazac po kojemu će se utvrditi relevantni dokazi i strukturirati naknadna analiza. Obrazac po kojemu je rađeno istraživanje prikazan je na slici 2.



Slika 2 Analitički obrazac metodologije [34]

Analiza se temelji na recipročnom odnosu između autonomnih vozila i infrastrukture cestovne mreže. U analizi su postavljene sljedeće pretpostavke:

- Infrastruktura mora omogućiti autonomnim vozilima sigurno kretanje cestom
- Sposobnost autonomnih vozila da u potpunosti ili djelomično zamjenjuju kompetencije vozača ovisi o razini autonomnosti, stanju infrastrukture i putnim uvjetima
- Zakoni se moraju koordinirati u trima područjima: autonomna tehnologija, licenciranje vozača i pružanje odgovarajuće infrastrukture.

Kao što je već spomenuto, prema klasifikaciji koju je izdala SAE postoji šest vrsta autonomnosti. Nulta razina nema autonomnosti, a peta razina je potpuno autonomna [3].

4.2. Implikacije autonomnih vozila za cestovnu infrastrukturu

Spoj podataka senzora vozila, potrebne informacije s karata i dodatni podaci s infrastrukturnih elemenata potrebni su za koncept mješovitog prometa. Različiti scenariji mogu se zamisliti gdje infrastrukturni podaci poboljšavaju prediktivne manevre, npr. davanjem upozorenja o preprekama na cesti, prometnoj gužvi ili nepovoljnim vremenskim uvjetima. Nadalje, podaci digitalne infrastrukture mogu se koristiti i za vođenje mješovitog prometa savjetovanjem optimalnog razmaka između vozila kako bi se podržalo stapanje traka ili

platooning. Aktivno vođenje autonomnih vozila potrebno je kod postizanja učinkovitog prometa. Najnovije studije o utjecaju kapaciteta miješanog prometa u različitim etapama penetracije pokazuju da kapacitet prometnice neće biti povećan u svim scenarijima bez vođenja prometnog toka s rampom [34].

Najveći zahtjevi za cestovnu infrastrukturu pojavit će se kada cestu budu dijelila potpuno autonomna vozila razine 5 i djelomično ili neautonomna vozila razina 0-2. To bi zahtijevalo cestovnu mrežu sposobnu prihvatiti ili ograničiti cijeli raspon interakcija unutar mješovitog prometa.

Dizajn cestovne mreže također bi trebao uzeti u obzir povećan rizik za ostale sudionike prometa koji proizlazi iz složenijih cesta. Ako autonomna vozila neće biti potpuno odvojena s infrastrukturom posvećenom samo njima, trebat će odvojiti ostale sudionike u prometu ili ih barem educirati o ponašanju autonomnih vozila [34, 35].

Ključno je pitanje hoće li doći do postupnog i upravljanog napretka kroz razine autonomnosti ili će zaživjeti vizija preskakanja srednjih razina i odmah uvođenje potpuno autonomnih vozila. To neće ovisiti samo o dostupnosti odgovarajuće tehnologije nego i prihvaćanju javnosti [9].

4.2.1. Značajke cestovne infrastrukture

Kako bismo što bolje razumjeli trenutno stanje infrastrukture važno je klasificirati njene temeljne značajke. Britanski ured za željeznicu i ceste (eng. *The UK Office of Rail and Road*) podijelio je značajke infrastrukture u pet glavnih skupina: strukture, ceste, komunikacije, odvodnja i geotehničke značajke. Strukture se odnose na građevine, mostove, rasvjetu, prepreke od sudara, podvožnjake i tunele. Ceste podrazumijevaju sve što se direktno odnosi na cestu poput površine i stanja ceste, cestovnih oznaka, širina traka, raspored traka, kolnika, uređaja za smirivanje prometa, pločnika, parkirališta i biciklističkih staza. Na komunikacije se odnosi sve što podržava komunikaciju s vozačem i/ili vozilom. Tu spadaju statičke komunikacije poput prometnih znakova, prometnih svjetala i oznaka na cesti. U elektroničke komunikacije spadaju bežične ili mobilne mreže i svi oblici povezivanja i prijenosa podataka. U odvodnju spadaju odvodni kanali, jarci i jaruge potrebni za odvodnju površinskih voda i minimiziranje poplava. U geotehničke značajke spadaju geometrija puta, nasipi i isječci [36].

S obzirom na dostupnu literaturu očito je da je komunikacija najbitniji aspekt cestovne infrastrukture zato što će ispravnost rada autonomnih vozila ovisiti o komunikaciji koju primaju iz svojega okruženja.

4.2.2. Značajke vozača

Jedna od glavnih briga vezana za autonomna vozila je ta što, iako je moguće razviti autonoman sustav koji će se puno efikasnije baviti predvidljivim situacijama nego ljudi, autonomni sustavi nisu nužno dobri kada se radi o neočekivanim i rijetkim slučajevima koje se prema[37] dogode jednom u 10000 milja ili 100000 milja vožnje.

Postoje četiri glavna područja sposobnosti ljudskog vozača, a to su:

1. Promatranje – uključuje otkrivanje, ispitivanje, prepoznavanje i nadgledanje pokretnih i nepomičnih objekata na cesti i oko nje.
2. Analiza – uključuje razumijevanje značaja spoznatih objekata kao i tumačenje i predviđanje njihovih postupaka.
3. Donošenje odluka – uključuje prepoznavanje opcija, utvrđivanje rizika i prednosti povezanih s danim opcijama te odabir među njima.
4. Poduzimanje učinkovite fizičke radnje - uključuje osnovne radnje koje se mogu poduzeti u vozilima: pokretanje i zaustavljanje, ubrzanje i usporenje i promjena smjera.

Sve četiri razine „kognitivnih performansi“ koje zahtijevaju autonomna vozila imat će posljedice na infrastrukturu jer će posljednje tri izravno ovisiti o točnosti prve, a mogućnost smanjenja sigurnosnih značajki morat će se uskladiti s potrebom da se zadrži dovoljno potrebne redundantnosti u sustavima kako bi se sigurnosni rizik smanjio koliko god je to moguće [38]. Međutim, točnije će implikacije na infrastrukturu biti određene tek kada se donesu zakonske odluke.

4.3. Spremnost trenutne infrastrukture

Razmatra se niz komunikacijskih uređaja na cesti koji bi mogli nadomjestiti uređaje u vozilu, senzore i vozilo-vozilo komunikaciju (V2V). To uključuje komunikacijske odašiljače smještene na strateškim položajima koji mogu zamijeniti prometna svjetla pružajući informacije o položaju vozila i mogu služiti nizu drugih funkcija. To bi, naravno, moglo povećati trošak.

Jedna od najvažnijih značajki autonomnih vozila je ta da zahtijevaju vrlo detaljne karte ruta kojima putuju. Fizički čitljive informacije o oznakama traka i ograničenjima brzina mogu u nekim situacijama zamijenjeni ili podržani sadržajem karte na temelju statičkih informacija. Navedeno obično osiguravaju davatelji karata i cestovni operateri. Ove statičke informacije presudne su za upravljanje autonomnim vozilom. Mogu se dodatno poboljšati dodatnim slojevima dinamičkog sadržaja, poput informacija o privremenim promjenama. [2].

Tvrđnja postavljena za autonomna vozila je da se prometna svjetla mogu zamijeniti drugom komunikacijskim uređajima. Međutim, vozila koja se kreću postojećom infrastrukturom moraju biti u stanju uočiti i pravilno interpretirati prometna svjetla. Jedan od problema s kojim se već susrećemo su loši vremenski uvjeti jer je mnogim sensorima potrebna vidljivost [39]. Predloženo je da više signala može prevladati taj problem, ali u nekim okolnostima čak i višestruki senzori možda neće pružiti podatke i prometnicama za autonomna vozila [34, 35].

Ističe se da statički komunikacijski uređaji poput oznaka na cesti i cestovnih znakova trebaju biti bolje kvalitete nego što su sada ili barem održavanim u boljem stanju.

Istraživanjima je dokazano kako postoji mala standardizacija prometnih signala i znakova između država što bi moglo stvoriti problem pri uvođenju autonomnih vozila. Bit će potrebno standardizirati prometne signale i znakove na kontinentalnoj ili još bolje, na globalnoj razini [34].

S većom penetracijom autonomnih vozila, veličina, upotreba i distribucija parkirališnih površina vjerojatno će se morati značajno promijeniti. U istraživanjima se predviđa da će postojati značajno manja potreba za nekim vrstama parkinga kao što je rezidencijalni parking, stambeni parking, *park-and-ride* mjesta kao i parking u trgovačkim centrima zbog smanjenja vlasništva automobila [34, 40]. No, može postojati povećana potreba za drugim vrstama parkiranja poput onih za unajmljena autonomna vozila. U tom se slučaju predviđa da će takva parkirališta za autonomna vozila biti usmjerena na određena područja poput tranzitnih čvorišta ili željezničkih stanica. Sve to ovisi o tome hoće li se vlasništvo nad vozilima značajno smanjiti [34].

Osim parkinga autonomna će vozila trebati i mjesto za punjenje. Jedno od predviđanja je da će crpke za punjenje obično biti smještene na parkiralištima. S obzirom na pretpostavku da će autonomna vozila uglavnom biti električna to će značiti pružanje potrebne infrastrukture za isporuku električne energije [40].

Nekoliko scenarija sugerira potrebu za odvajanjem autonomnog od neautonomnog prometa. To zapravo znači odvajanje cesta za autonomna vozila od cesta za neautonomna

vozila. Jedna od posljedica tog razdvajanja mogla bi biti povećana potreba za podvožnjacima i mostovima. Najveći razlog tomu je osiguravanje sigurnosti svih sudionika u prometu [1, 25, 34].

Osiguravanjem da je vidljivost oznaka cestama, signala i znakova prikladna za učinkovito izvođenje vožnje autonomnim vozilom zahtijevat će poboljšanu uličnu rasvjetu kroz bolje osvijetljenje ili više bliže postavljenih svjetala [41].

Već je spomenuto da će oznake na cesti, prometni znakovi i signali trebati biti održavani češće i na višoj razini nego sada kako bi autonomna vozila mogla normalno funkcionirati. Također, princip vožnje u takvim vozilima najviše će se zasnivati na sustavu održavanja u traci (eng. *keeping in lane system*) pa će iz tog razloga određeni dio trake kojom autonomna vozila prolaze trebati češće obnavljati [34, 41].

Postoje mnogi prijedlozi kako korištenje prostora i troškove minimalizirati pri oblikovanju cesta za spomenuta vozila. Na primjer, moguće je da će ulice biti uže, polumjeri križanja manji. Provesti takve promjene bi bilo relativno jednostavno s novim cestama, ali je dosta problematično uvesti spomenute promjene na postojeću infrastrukturu [1, 2, 34].

Kako god, treba naglasiti da bi takva poboljšanja cesta učinila te ceste neprikladnim za promet neautonomnih vozila. Rizik od nesreća bi se uvelike povećao za vozače spomenutih vozila.

Kako bi se strukturirali različiti načini podrške koju infrastruktura može pružati autonomnim vozilima, predloženo je pet razina infrastrukturne podrške za autonomnu vožnju (eng. *Infrastructure Support for Automated Driving - ISA*). Temelji se na klasifikaciji autonomnih vozila prema SAE razinama. Razine podrške za infrastrukturu neovisne su i nisu povezane sa SAE razinama. Točnije, autonomno vozilo SAE treće razine ne treba razinu podrške za infrastrukturu B [42].

				Digitalne informacije pružene AV
--	--	--	--	-------------------------------------

	Razina	Naziv	Opis	Digitalna karta sa statičkim cestovnim znakovima	VMS, upozorenja, incidenti, vrijeme	Mikroskopske prometne situacije	Vodjenje: brzina, razmak, preporučena traka
Standardna infrastruktura	E	Standardna infrastruktura	Standardna infrastruktura bez digitalnih informacija				
	D	Statičke digitalne informacije	Digitalna mapa dostupna sa statičkim cestovnim znakovima	X			
Digitalna infrastruktura	C	Dinamičke digitalne informacije	Sve statičke i dinamičke informacije s infrastrukture su dostupne AV u digitalnom obliku	X	X		
	B	Kooperativna percepcija	Infrastruktura je sposobna percipirati mikroskopske prometne situacije i pružiti podatke u stvarnom vremenu AV	X	X	X	
	A	Kooperativna vožnja	Temeljem stvarnovremenskih informacija o kretanju vozila može navoditi AV kako bi optimizirala prometni tok	X	X	X	X

Tablica 2 Prikaz ISA razina [42]

Slika 3. prikazuje opis pet ISA razina zajedno s informacijama koje se pružaju autonomnim vozilima. ISA razine započinju s uobičajenom infrastrukturom bez ikakve podrške za autonomnost vozila (razina E). Dostupnost digitalne karte sa statičkim regulatornim informacijama (npr. ograničenje brzine) predstavlja razinu D. Na razini C započinje potpuna digitalizacija elemenata infrastrukture i na taj način dostupnost svih relevantnih digitalnih informacija u digitalnom obliku koje se mogu proširiti daljnjim informacijama o okruženju. Razina B opisuje infrastrukturu koja može opažati cjelokupne prometne situacije na mikroskopskoj osnovi specijaliziranim sensorima (npr. fiksni infrastrukturni radari). Ovi senzorski podaci mogu se nadopuniti podacima iz vozila kao što su sondirani podaci vozila te napredne kooperativne poruke o percepciji. Međutim, samo korištenje tih podataka ne pruža mikroskopsku sposobnost percepcije prometa jer se oslanja na opremu vozila. Na A razini infrastruktura koristi svoju sposobnost percepcije prometa za mikroskopsko upravljanje prometom [42]. Mikroskopsko upravljanje prometom nadilazi dinamičke granice brzine i pruža

savjete za optimalnu brzinu, preporuku izbora prometnih traka, savjet o razmaku među vozilima i slično autonomnim i kooperativnim vozilima.

Razine podrške za infrastrukturu namijenjene su opisivanju dionica ceste ili autoceste, a ne cijelih cestovnih mreža. To odražava uobičajenu praksu postavljanja infrastrukture: sustavi upravljanja prometom obično se postavljaju na dionicama cesta na kojima promet često doseže granicu kapaciteta (npr. u gradskim područjima) dok druge dionice ceste ne trebaju fiksne instalacije za kontrolu prometa jer je prometni tok rijetko poremećen [34, 35].

ISA razine A-D povezane su određenim zahtjevima za povezivanje. Razina D (podrška putem karte) zahtijeva samo sporadično povezivanje kako bi se ažurirali podaci karata i pridruženi regulatorni podaci. Na razini C, gdje se daju i dinamične informacije, vozila potrebna su ažuriranja redovito (svako nekoliko sekundi) kako bi mogli na vrijeme primiti promjenjive podatke. Na razinama B i A razmjenjuju se informacije sa senzora u stvarnom vremenu s vozilom što zahtijeva da se podaci razmjenjuju na visokoj frekvenciji [42].

Vidljiva cestovna infrastruktura poput oznaka traka i znakova s porukom vrhunski su elementi svakoga nacionalnoga cestovnoga operatora [34, 41, 42]. Ručno kontrolirani centri za upravljanje prometom danas se mogu osloniti i na radarske senzore ili brojače prometa koji im omogućuju sustave brzog upozoravanja putem znakova s promjenjivim porukama. Međutim, s dolaskom autonomnih vozila cestovna će se oprema i kontrola prometnoga toka zasigurno promijeniti [41, 42].

4.4. Izazovi za budućnost

Najvažniji utjecaj na potrebu za promjenom infrastrukture je priroda zakona koji će se donijeti o načinu smještaja autonomnih vozila te razini autonomnosti koju će infrastruktura podržavati. Te će se odluke donositi na nacionalnoj i međunarodnoj razini [34, 41, 42].

Neki tvrtke poput Googlea i Tesle razvijaju autonomna vozila koja se mogu sigurno i učinkovito voziti na postojećoj infrastrukturi koristeći postojeće statičke komunikacijske uređaje. To bi u načelu smanjilo potrebu za dodatnom izgradnjom infrastrukture. Za razliku od njih, drugi se investitori zalažu za izgradnju nove i odvojene infrastrukture [9].

Već su spomenute mnoge potencijalne prednosti koje mogu proizaći iz uvođenja autonomnih vozila. To uključuje sigurnosne, socijalne, ekološke i zdravstvene beneficije. S obzirom na također spomenuta potrebna poboljšanja infrastrukture treba spomenuti troškove

koje bi ona mogla donijeti. Dio istražitelja ne vjeruje da je uopće moguća izgradnja odvojene infrastrukture zbog troškova koje ista iziskuje [34].

Postoje dvije vrste infrastrukturnih troškova koje dolaze s pojavom autonomnih vozila, a to su:

1. Infrastrukturni troškovi za podršku u početnim fazama usvajanja autonomnih vozila

Pri stvaranju cestovnih sustava jako je bitno da oni postignu maksimalnu predvidljivost u prometnom okruženju [37]. Rani razvoj infrastrukture za takva vozila vjerojatno će uključivati dodatne komunikacijske odašiljače, antene, procesore podataka i komunikacijske jedinice kao dodatak već postojećim znakovima koji se moraju zadržati kako bi omogućili promet neautonomnom prometu [39]. Očekuje se da će buduća ulaganja ove vrste omogućiti prihvaćanje autonomnih vozila i da će doći do točke u kojoj cijena takvih vozila pada, a raste mogućnost njihove jednostavne i sigurne upotrebe.

2. Infrastrukturni troškovi koji omogućuju široku upotrebu autonomnih vozila

Smatra se da će za promjenu infrastrukture biti potreban 30-godišnji plan planiranja s obzirom na ogromne troškove koji su uključeni u njezinu promjenu. Postoji veća mogućnost da će se prvo graditi dijelovi prometnice nego cjelokupna prometna mreža. Neodgovarajuće održavanje i razlike u oznakama na cestama i prometnim znakovima druga su glavna prepreka učinkovitoj uporabi tehnologije u vozilima [34]. To pretpostavlja da je široka upotreba autonomnih vozila dobra stvar, ali postoje upozorenja potencijalno negativne posljedice koje je potrebno pažljivo savladati. Iako autonomna vozila mogu s vremenom smanjiti potrebu za novom infrastrukturom i osloboditi gradski prostor, njihovo usvajanje može također rezultirati pojačanim gradskim širenjem ukoliko se pokaže da je putovanje brže ili da će biti manje zagušenja [34, 39, 42].

Prisutne su mnoge zabrinutosti u pogledu percepcijske točnosti autonomnih sustava. To uključuje zabrinutosti zbog 'mrtvih kutova' u postojećim sustavima. Trenutna tehnologija ne može 'vidjeti' onoliko daleko koliko čovjek može i granica joj je 150 metara što je skoro kao put kočnja pri brzinama na autocesti [34].

Standardni GPS je precizan samo u 3.5 metra pa će njegovo korištenje za usmjeravanje pozicioniranja vozila trebati biti prošireno sustavima kao što su diferencijalni GPS ili optički satovi [43]. Kod ovog sustava postoji potreba za triangulacijom tako da vozila znaju točno gdje se nalaze.

5. Rezultati istraživanja i diskusija ocjene očekivanja

Istraživanje autonomnih vozila područje je velikoga interesa javnosti trenutno zbog sve veće prisutnosti vozila s nekim od funkcionalnosti autonomnih sustava. Te su funkcionalnosti iz dana u dan sve dostupnije širem tržištu te su sve zastupljenije u automobilskoj industriji. Autonomna vozila zauzimaju sve veći medijski prostor te zbog svega navedenog postaju predmet brojnih istraživanja diljem svijeta.

Kao odgovor na brzi tehnološki napredak u području autonomnih vozila upravljačke jedinice na lokalnoj i nacionalnoj razini već su počele razvijati strategije za suočavanje s izazovima koji mogu proizaći iz uvođenja takvih vozila [44]. Najviše istraživanja provodi se u Sjedinjenim Američkim Državama.

Kako bismo stekli bolje razumijevanje mišljenja, zabrinutosti i općenite prihvaćenosti autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj izrađen je ovaj anketni upitnik pod nazivom: „Prihvaćenost autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj“. Upitnik je izrađen u alatu LimeSurvey dostupnom na stranicama Sveučilišnog računskog centra Sveučilišta u Zagrebu (Srce). To je alat otvorenoga koda koji služi za izradu anketnih upitnika. Jedini preduvjet za izradu i provedbu ankete jest posjedovanje elektroničkog identiteta u sustavu AAI@EduHr. Pred korisnike nisu postavljena druga ograničenja [5].

Anketni se upitnik sastojao od 15 pitanja raspoređenih u dvije grupe i ispunilo ga je 106 ispitanika. Prva se grupa pitanja, nazvana „Općenita pitanja“, sastoji od triju pitanja demografske prirode (dob, spol i stupanj obrazovanja) te dvaju općenitih pitanja za bolje tumačenje rezultata. U drugoj je grupi pitanja, nazvanoj „Autonomna vozila“, ispitanicima najprije objašnjeno što su to autonomna vozila te koje su razine autonomnosti i što ih obilježava kako bi mogli što bolje odgovoriti na ponuđena pitanja. Grupa se sastoji od 10 pitanja prema kojima bi se trebao zaključiti stav populacije prema autonomnim vozilima.

Ovaj je anketni upitnik rađen po uzoru na upitnik „Analiza javnog mišljenja o autonomnim vozilima u Sjedinjenim Američkim Državama, Ujedinjenom kraljevstvu i Australiji“ (eng. *A survey of public opinion about autonomous vehicles in the U.S. the U.K. and Australia*). Taj su upitnik s njegovom analizom obradili na institutu za istraživanje prometa Sveučilišta Michigan [44].

Glavne teme obrađene u upitniku su: poznavanje i općenito mišljenje o autonomnim vozilima, očekivane prednosti autonomnih vozila, zabrinutost oko korištenja autonomnih vozila, zabrinutost o različitim mogućim scenarijima u autonomnim vozilima, sveukupni interes za posjedovanje i spremnost plaćanja za autonomnu tehnologiju.

Na kraju diplomskoga rada, u Prilogu 1., nalaze se anketna pitanja poredana kako su bila i u stvarnoj anketi. Dalje će se u radu prikazati rezultati koji su dobiveni za svako pitanje u grafičkom obliku kako bi se što lakše razumjelo te će se pokušati zaključiti stav populacije u Republici Hrvatskoj na osnovi ovoga uzorka.

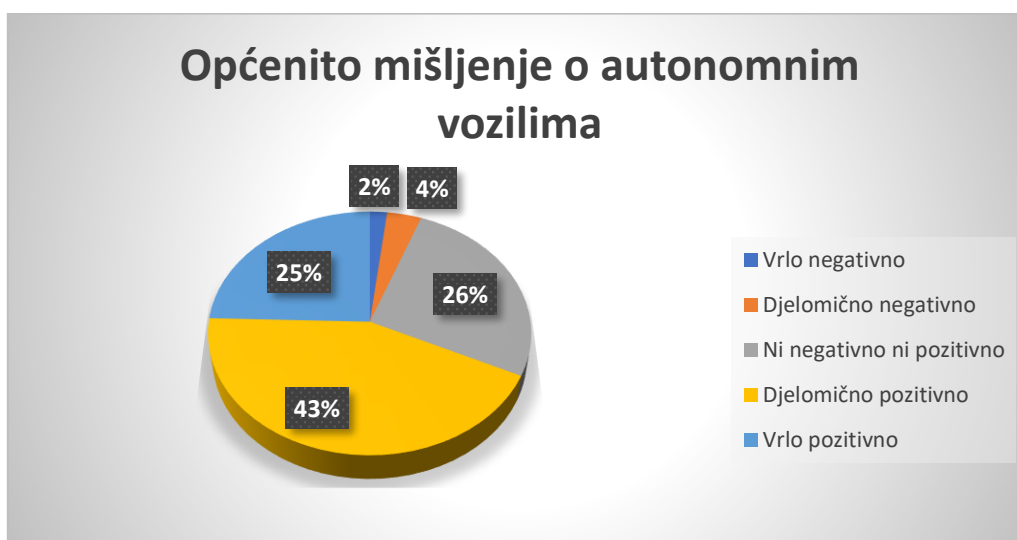
Demografska podjela ispitanika

Demografski aspekt		Broj	Postotak
Spol	Ženski	48	45.28 %
	Muški	58	54.72 %
Dobna grupa	18-29	60	56.60 %
	30-39	17	16.04 %
	40-49	19	17.92 %
	50-59	8	7.55 %
	60-69	2	1.89 %
	70 i više	0	0.00 %
Stupanj obrazovanja	Srednja stručna sprema	18	16.98 %
	Viša stručna sprema	37	34.91 %
	Visoka stručna sprema	51	48.11 %
Najčešći tip prijevoza	Osobni automobil	76	71.70 %
	Motocikl	0	0.00 %
	Bicikl	4	3.77 %
	Javni prijevoz	26	24.53 %
	Ostalo	0	0.00 %
Poznavanje pojma autonomnih vozila	Da	88	83.02
	Ne	18	16.98

Tablica 3 Prikaz rezultata demografskog dijela pitanja

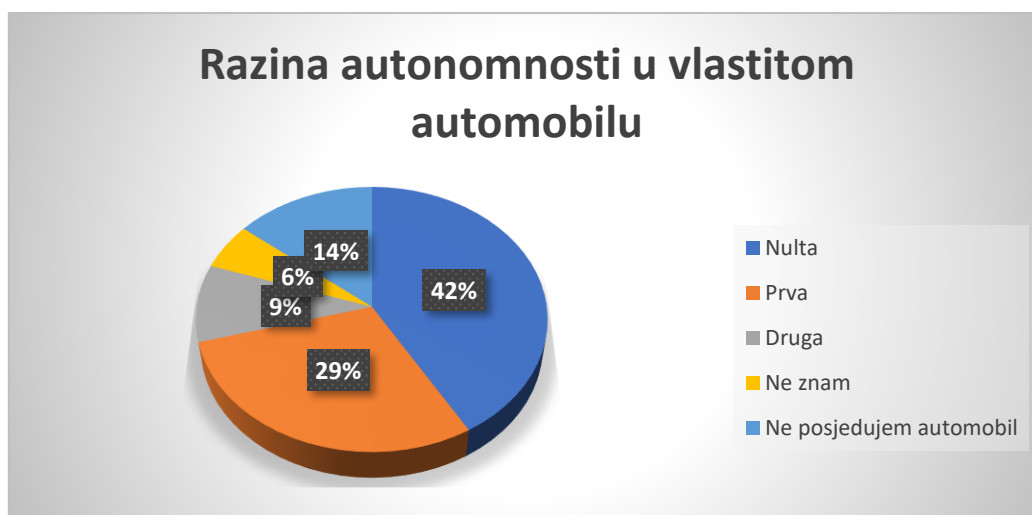
U tablici 1. prikazani su rezultati demografskog dijela pitanja. Anketni upitnik je ispunilo više muškaraca nego žena. Najzastupljenija je dobna skupina od 18 do 29 navršenih godina života. Najviše ispitanika, njih gotovo polovica, ima višu stručnu spremu, a najmanje njih ima srednju stručnu spremu. Čak 71.70 % ispitanika koristi osobni automobil kao najčešći oblik prijevoza što bi značilo da predstavljaju veoma dobar uzorak za ispitivanje prihvatanja autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj.

Ispitanicima je na uvodu u drugu grupu pitanja „Autonomna vozila“ ponuđen detaljan opis i definicija autonomnih vozila kao i razina autonomnosti definiranih prema SAE kako bi što točnije mogli odgovoriti na ponuđena pitanja u grupi. Pomoću danih opisa i definicija, čak je i ispitanicima koji su u prethodnoj grupi pitanja izjavili da nisu čuli za pojam autonomnih vozila pružena mogućnost odgovora na postavljena pitanja.



Grafikon 1 Općenito mišljenje o autonomnim vozilima

Kao što je vidljivo iz Grafikona 1. općenito je mišljenje o autonomnim vozilima u Republici Hrvatskoj uglavnom pozitivno. Samo 2 % ispitanika se izjasnilo da ima vrlo negativno mišljenje o autonomnim vozilima dok ih 4 % ima djelomično negativno mišljenje. Neutralno mišljenje ima 26 % ispitanika.



Grafikon 2 Razina autonomnosti u vlastitom automobilu

Drugo pitanje u grupi pitanja „Autonomna vozila“ bilo je definirati koju razinu autonomnosti pojedini korisnik ima u vlastitom automobilu ukoliko ga posjeduje prema gore navedenim definicijama razina autonomnosti. Tako je 42 % ispitanika izjavilo da imaju nultu razinu autonomnosti, 29 % njih ima prvu razinu autonomnosti te 9 % drugu razinu autonomnosti. 6 % ispitanika ne zna koji razinu autonomnosti ima njihovo vozila, a 14 % ne posjeduje automobil.

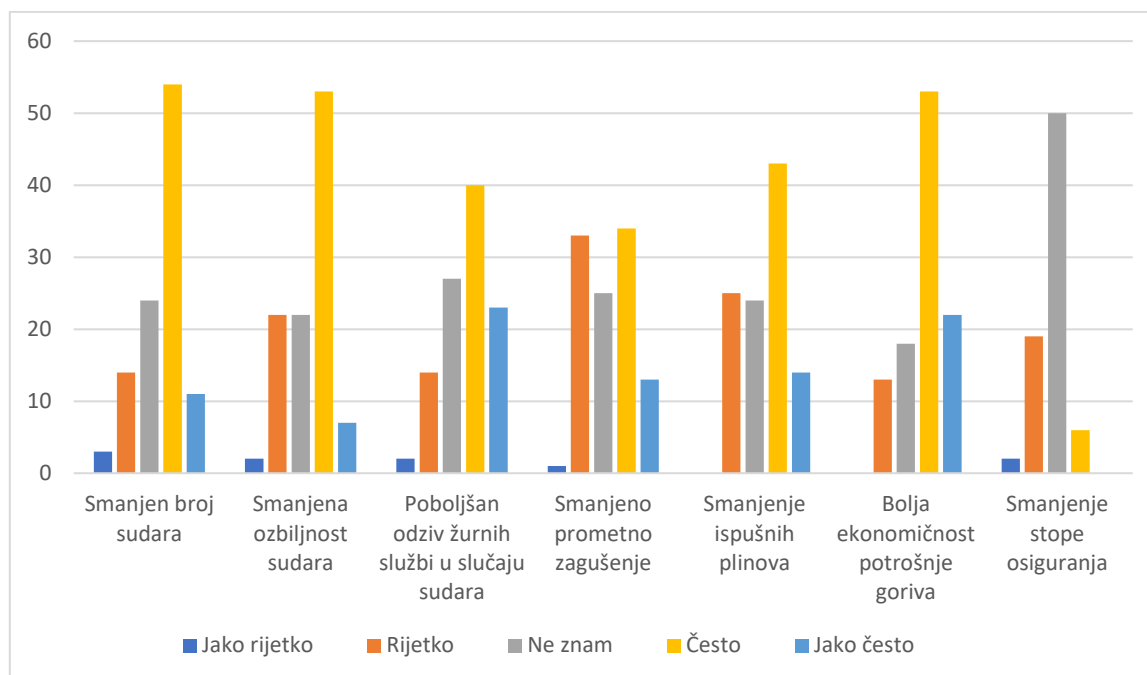
Očekivane prednosti	Odgovori	Rezultati	Postotak
Smanjen broj sudara	Jako rijetko	3	2.83 %
	Rijetko	14	13.21 %
	Ne znam	24	22.64 %
	Često	54	50.94 %
	Jako često	11	10.38 %
Smanjena ozbiljnost sudara	Jako rijetko	2	1.89 %
	Rijetko	22	20.75 %
	Ne znam	22	20.75 %
	Često	53	50.00 %
	Jako često	7	6.60 %
Poboljšan odziv žurnih službi u slučaju sudara	Jako rijetko	2	1.89 %
	Rijetko	14	13.21 %
	Ne znam	27	25.47 %

	Često	40	37.74 %
	Jako često	23	21.70 %
Smanjeno prometno zagušenje	Jako rijetko	1	0.94 %
	Rijetko	33	31.13 %
	Ne znam	25	23.58 %
	Često	34	32.08 %
	Jako često	13	12.26 %
Smanjenje ispušnih plinova	Jako rijetko	0	0.00 %
	Rijetko	25	23.58 %
	Ne znam	24	22.64 %
	Često	43	40.57 %
	Jako često	14	13.21 %
Bolja ekonomičnost potrošnje goriva	Jako rijetko	0	0.00 %
	Rijetko	13	12.26 %
	Ne znam	18	16.98 %
	Često	53	50.00 %
	Jako često	22	20.27 %
Smanjene stope osiguranja	Jako rijetko	2	1.89 %
	Rijetko	19	17.92 %
	Ne znam	50	47.17 %
	Često	29	27.36 %
	Jako često	6	5.66 %

Tablica 4 Prikaz rezultata pitanja o očekivanim prednostima autonomnih vozila

U grafikonu 3. grafički je prikazan omjer rezultata pojedine prednosti prema ponuđenim odgovorima „Jako rijetko“, „Rijetko“, „Ne znam“, „Često“ i „Jako često“ iz tablice 2. Prema rezultatima se može zaključiti da su ispitanici prilično optimistični glede većine navedenih prednosti. Čak 61,32 % ispitanika izjavilo je da očekuje da će s autonomnim vozilima često ili vrlo često biti smanjen broj sudara. Nešto više od pola ispitanika, 56,60 % misli da će često ili vrlo često sudari autonomnih vozila imati blaže posljedice nego sudari neautonomnih vozila. Također, većina ispitanika misli da će biti bolji odaziv žurnih službi u slučaju sudara (59,44 %) kao i da će se smanjiti ispušni plinovi (53,78 %). Najviše ispitanika kao prednost ističe bolju ekonomičnost potrošnje goriva (70,27 %). Ispitanici su najviše u nedoumici sa smanjenjem stope osiguranja kao prednosti, gdje je gotovo pola njih izjavilo da ne zna koliko frekventno bi

se ta prednost očekivala. Što se tiče smanjenoga prometnoga zagušenja, ispitanici su skeptični da bi autonomna vozila mogla riješiti taj učestali problem u Republici Hrvatskoj.



Grafikon 3 Prikaz rezultata o očekivanim prednostima autonomnih vozila

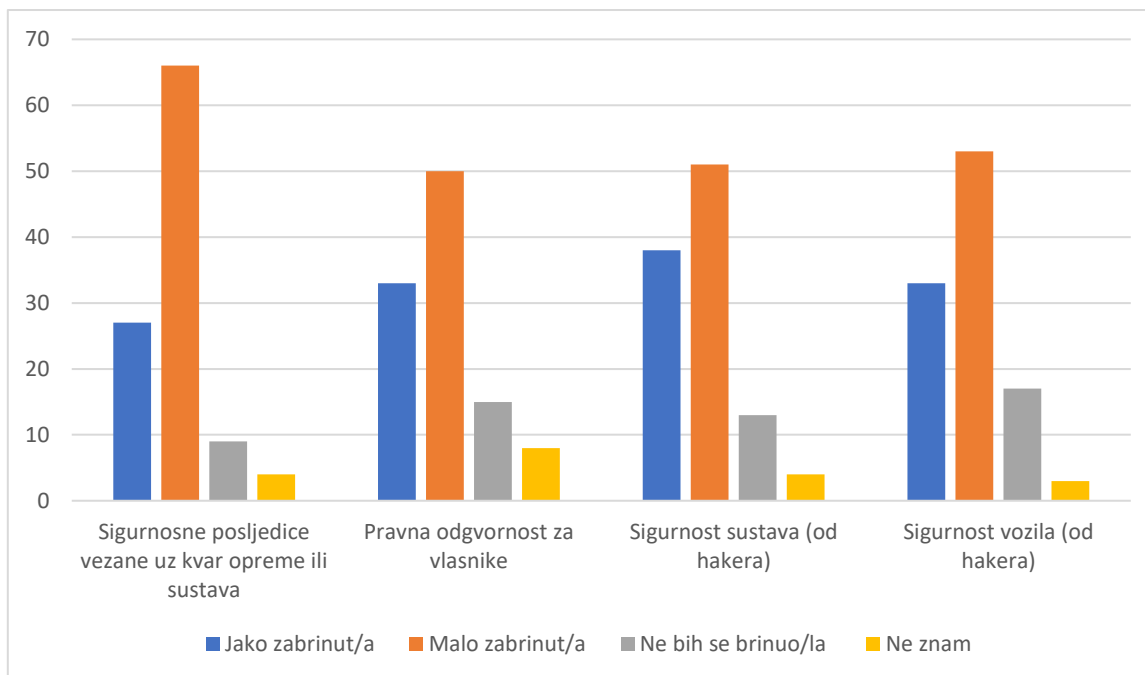
Tablica 3. prikazuje rezultate odgovora na pitanje u kojoj bi mjeri ispitanici bili zabrinuti vozeći autonomno vozilo. Kao mogući odgovori ponuđeni su: „Jako zabrinut/a“, „Malo zabrinut/a“, „Ne bih se brinuo“ i „Ne znam“.

Mogući razlozi zabrinutosti	Odgovori	Rezultati	Postotak
Sigurnosne posljedice vezane uz kvar opreme ili sustava	Jako zabrinut/a	27	25.47 %
	Malo zabrinut/a	66	62.26 %
	Ne bih se brinuo/la	9	8.49 %
	Ne znam	4	3.77 %
Pravna odgovornost za vlasnika/vozača	Jako zabrinut/a	33	31.13 %
	Malo zabrinut/a	50	47.17 %
	Ne bih se brinuo/la	15	14.15 %
	Ne znam	8	7.55 %
Sigurnost sustava (od hakera)	Jako zabrinut/a	38	35.85 %
	Malo zabrinut/a	51	48.11 %
	Ne bih se brinuo/la	13	12.26 %
	Ne znam	4	3.77 %
Sigurnost vozila (od hakera)	Jako zabrinut/a	33	31.13 %
	Malo zabrinut/a	53	50.00 %

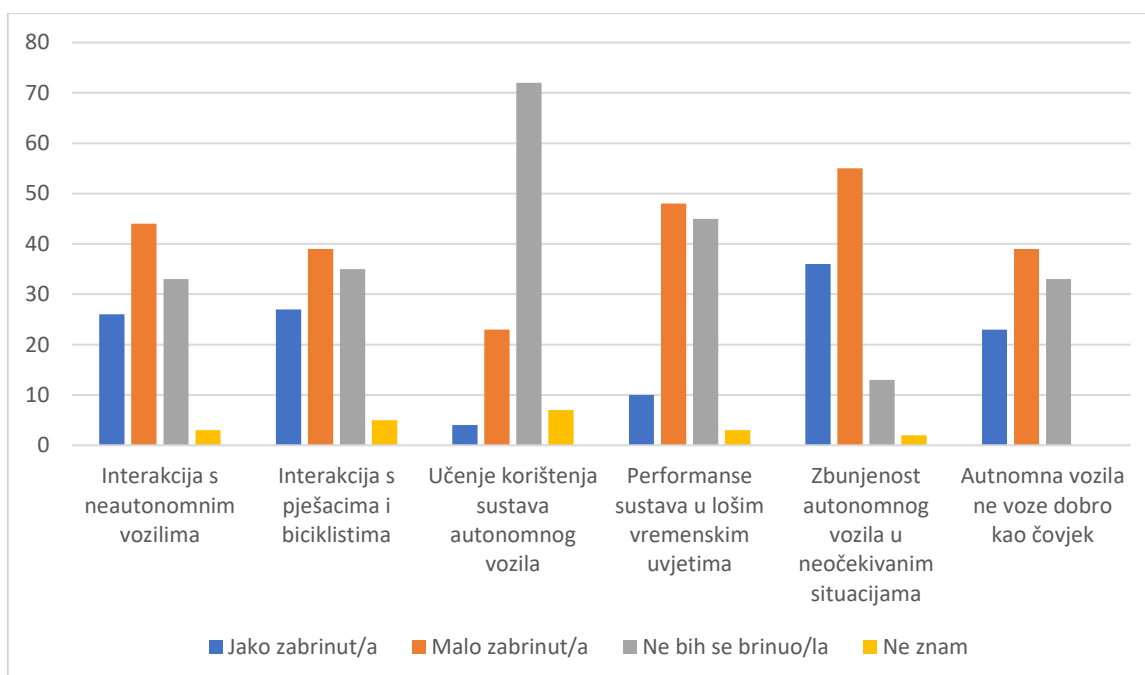
	Ne bih se brinuo/la	17	16.04 %
	Ne znam	3	2.83 %
Privatnost podataka (lokacija i praćenje)	Jako zabrinut/a	36	33.96 %
	Malo zabrinut/a	41	38.68 %
	Ne bih se brinuo/la	27	25.47 %
	Ne znam	2	1.89 %
Interakcija s drugim vozilima koja nisu autonomna	Jako zabrinut/a	26	24.53 %
	Malo zabrinut/a	44	41.51 %
	Ne bih se brinuo/la	33	31.13 %
	Ne znam	3	2.83 %
Interakcija s pješacima i biciklistima	Jako zabrinut/a	27	25.47 %
	Malo zabrinut/a	39	33.02 %
	Ne bih se brinuo/la	35	33.02 %
	Ne znam	5	4.72 %
Učenje korištenja sustava autonomnog vozila	Jako zabrinut/a	4	3.77 %
	Malo zabrinut/a	23	21.70 %
	Ne bih se brinuo/la	72	67.92 %
	Ne znam	7	6.60 %
Performanse sustava u lošim vremenskim uvjetima	Jako zabrinut/a	10	9.43 %
	Malo zabrinut/a	48	45.28 %
	Ne bih se brinuo/la	45	42.45 %
	Ne znam	3	2.83 %

Tablica 5 Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz autonomna vozila

Kao što je prikazano u tablici 3 i grafikonima 4a i 4b ispitanici su u velikoj mjeri zabrinuti za sve navedene potencijalne probleme s autonomnim vozilima osim za učenje korištenja sustava autonomnog vozila. Ovi rezultati pokazuju da je hrvatska populacija, kao i ostatak svijeta, još uvijek nedovoljno upoznata s konceptom autonomne tehnologije i samim pojmom autonomnih vozila te da još uvijek ne postoji tržište spremno za implementaciju takvih vozila. Ispitanici su u najvećoj mjeri zabrinuti za posljedice vezane uz kvar sustava ili kvar opreme.

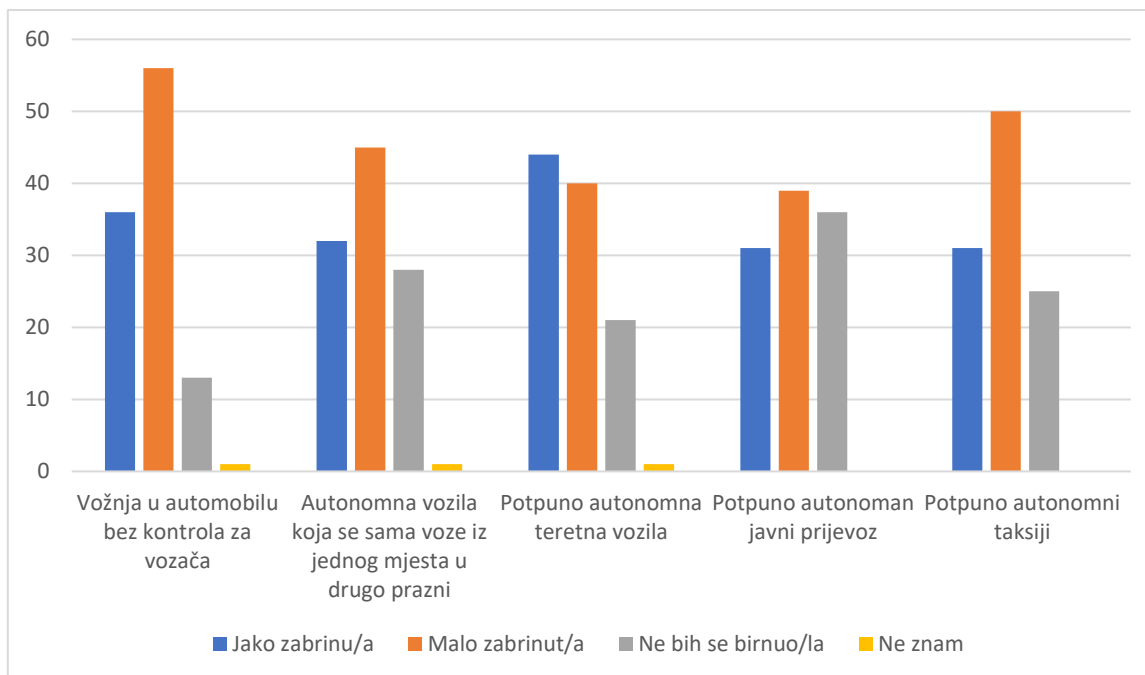


Grafikon 4 Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz autonomna vozila



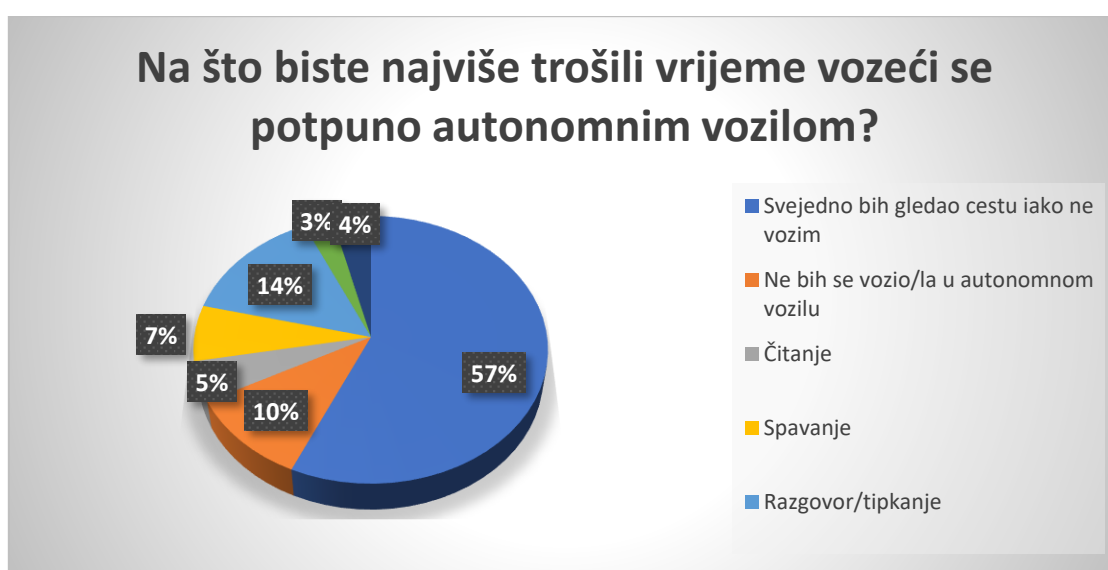
Grafikon 5 Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz autonomna vozila

U slučaju vožnje u potpuno autonomnim vozilima, korisnici su najzabrinutiji za scenarij gdje bi se vozili u automobilu bez kontrola za vozača, a najmanje njih bi bilo zabrinuto vozeći se potpuno autonomnim javnim prijevozom kao što je prikazano u Grafikonu 6.



Grafikon 6. Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz vožnju u potpuno autonomnim vozilima

Na pitanje „Po Vašem mišljenju na što biste najviše trošili vrijeme vozeći se potpuno autonomnim vozilom?“ najučestaliji je odgovor ispitanika bio da bi svejedno gledali cestu iako ne voze što potvrđuje zabrinutost prikazanu i u prethodnim tablicama i grafikonima. Nadalje, oko 10 % odgovorilo je da se uopće ne bi vozili u autonomnom vozilu. Ova dva odgovora prikazuju skeptičan odnos ispitanika prema uvođenju autonomnih vozila i autonomnoj tehnologiji općenito. Postotak svakog pojedinog odgovora prikazan je u grafikonu 5.



Grafikon 6 Na što biste najviše trošili vrijeme vozeći se potpuno autonomnim vozilom

Više ispitanika ne bi posjedovalo potpuno autonomno vozilo kada bi to bilo moguće. Njih 46.23 % izjavilo je da bi posjedovali spomenuto vozilo. Rezultati pitanja vidljivi su Grafikonu 6.



Grafikon 7 Biste li posjedovali autonomno vozilo ukoliko je to moguće

Ispitanicima koji su odgovorili da bi posjedovali potpuno autonomno vozilo postavljeno je posljednje pitanje o iznosu koji bi bili voljni dodatno izdvojiti za takvo vozilo. Najviše njih bi dodatno izdvojilo više od 5000 HRK.



Grafikon 8 Koliko biste bili voljni izdvojiti kao bi posjedovali takvo vozilo

Analiza

S obzirom na spol, više je od 60 % žena imalo pozitivno (djelomično pozitivno ili vrlo pozitivno) općenito mišljenje o autonomnim vozilima. Također, više od 72 % muškaraca imalo je pozitivno (djelomično pozitivno ili vrlo pozitivno) općenito mišljenje o autonomnim vozilima.

Na pitanje koliko bi često doživjeli određene prednosti vozeći autonomno vozilo, ženska populacija ispitanika je izjavila da bi to najčešće bili:

- Bolja ekonomičnost potrošnje goriva (64, 58 % ispitanica odgovorilo je da bi doživjelo tu prednost često ili jako često vozeći autonomno vozilo)
- Smanjen broj sudara (62,5 % ispitanica odgovorilo je da bi doživjelo tu prednost često ili jako često vozeći autonomno vozilo)
- Smanjena ozbiljnost sudara (54,17 % ispitanica odgovorilo je da bi doživjelo tu prednost često ili jako često vozeći autonomno vozilo)

U vezi s navedenim pitanjem, ispitanice su bile najskeptičnije s smanjenjem prometnog zagušenja kao prednosti te sa smanjenjem ispušnih plinova i smanjenjem stope osiguranja.

Muški dio ispitanika kao odgovor na pitanje koliko često bi doživjeli određene prednosti vozeći autonomno vozilo izdvojili su sljedeće prednosti kao najfrekventnije:

- Bolja ekonomičnost potrošnje goriva (75,86 % ispitanika odgovorilo je da bi doživjelo tu prednost često ili jako često vozeći autonomno vozilo)
- Poboljšan odziv žurnih službi u slučaju sudara (67,24 % ispitanika odgovorilo je da bi doživjelo tu prednost često ili jako često vozeći autonomno vozilo)
- Smanjen broj sudara (60,35 % ispitanika odgovorilo je da bi doživjelo tu prednost često ili jako često vozeći autonomno vozilo)

Najviše muških ispitanika bilo je skeptično oko smanjenja ispušnih plinova i smanjenja prometnog zagušenja kao prednosti koje bi donijela vožnja autonomnim vozilima.

Ispitanici ženskog spola upitani o zabrinutostima vozeći autonomnom izdvojile bi kako bi se najmanje brinule o učenju korištenja sustava autonomnog vozila kao i ispitanici muškog spola. Za sve ostale ponuđene odgovore najveći broj ispitanica bio bi ili djelomično zabrinut ili jako zabrinut vozeći autonomno vozilo baš kao i muški dio ispitanika.

Upitane o mjeri zabrinutosti vozeći potpuno autonomno vozilo, najveći je broj ispitanica za svaki ponuđeni scenarij izjavio da bi bio djelomično zabrinut ili jako zabrinut vozeći potpuno autonomno vozilo. Na isto to pitanje, muški dio ispitanika bi bio najmanje zabrinut kad bi javni prijevoz bio potpuno autonoman.

Najfrekventniji odgovor ispitanica na pitanje na što bi trošili vrijeme vozeći se potpuno autonomno vozilom bio je da bi svejedno gledale cestu iako ne voze. To je bio i najfrekventniji odgovor kod muških ispitanika, ali u manjoj mjeri nego kod žena.

60,42 % ispitanica odgovorilo je da ne bi posjedovale potpuno autonomno vozilo ukoliko je to moguće, a najveći broj ispitanica koje su odgovorile da bi posjedovale takav automobil izjavile su da bi izdvojile 20000 HRK i više dodatno za njega.

Veći broj muških ispitanika bi posjedovao potpuno autonomno vozilo kada bi to bilo moguće, a najviše njih koji bi posjedovali takvo vozilo bi izdvojili dodatno za njega 5000 – 20000 HRK.

S obzirom na dob, najviše ispitanika koji su u dobi od 18 do 29 godina ima pozitivno općenito mišljenje. Oni su također otvoreniji novoj tehnologiji te su optimističniji oko prednosti autonomnih vozila, a manje zabrinuti za moguće scenarije vozeći autonomno vozilo.

Zanimljivo je da unatoč navedenom optimizmu čak pola ispitanika te dobi ne bi posjedovalo potpuno autonomno vozilo ukoliko bi to bilo moguće.

Osobe koje su prije anketnog upitnika čule za pojam autonomnih vozila imale su pozitivnije općenito mišljenje o istim.

Zaključak

Ovaj je anketni upitnik ispitivao mišljenje hrvatskoga naroda o tehnologiji autonomnih vozila. Iako je uzorak relativno malen za istraživanje ovakve prirode, sljedeći su se zaključci mogli izvući iz 106 prikupljenih uzoraka:

- Većina je ispitanika već prije čula za pojam autonomnih vozila i ima pozitivno općenito mišljenje o tehnologiji autonomnih vozila.
- Također, većina ispitanika misli da će autonomna vozila donijeti mnogobrojne prednosti kao što su: bolja ekonomičnost potrošnje goriva, smanjenje broja sudara, smanjenje ozbiljnosti sudara, itd.
- Međutim, većina je ispitanika zabrinuta za moguće probleme koje bi donijela vožnja autonomnih vozila vezane uz sigurnost sustava i podataka, pravnu odgovornost za vlasnike, sigurnosne posljedice zbog kvara, itd.
- Ispitanici su također izrazili veliku zabrinutost vezanu za vožnju u potpuno autonomnom vozilu koje nema kontrole za vozača, kao i za sve vrste prijevoza koje bi funkcionirale bez vozača (taksi, javni prijevoz, prijevoz tereta).
- Većina je ispitanika izjavila da ne bi posjedovala potpuno autonomno vozilo ukoliko je to moguće, a oni koji bi posjedovali takvo vozilo spremni su izdvojiti dodatni iznos za njega.
- U anketnom upitniku ističu se mladi ljudi od 18 do 29 godina jer imaju najpozitivnije mišljenje o tehnologiji autonomnih vozila, no svejedno samo bi ih pola posjedovalo potpuno autonomno vozilo.

6. Zaključak

S obzirom na dosadašnja istraživanja još je uvijek nepoznato kako će točno uvođenje autonomnih vozila utjecati na postojeću cestovnu infrastrukturu. Ističu se dvije strategije za koje postoje brojne varijacije koji će se scenarij zbilja dogoditi. Zagovaratelji prve strategije zalažu se za potpuno autonomna vozila koja su neovisna o ostalom prometu i koja surađuju s elementima postojeće infrastrukture. Za razliku od njih, drugi ističu da bi autonomna vozila trebala imati mogućnosti mijenjanja razina autonomnosti s obzirom na to koju razinu autonomnosti podržava trenutna infrastruktura.

S obzirom na navedene nepoznanice oko uvođenja spomenutih vozila, glavnu će ulogu imati donositelji zakona jer će oni morati definirati hoće li odgovornost imati vozilo ili vozač. Također, očekuju se zakonske regulative u području autonomne tehnologije, licenciranja vozača i pružanja odgovarajuće infrastrukture. To će razriješiti brojna pokrenuta pitanja te poslužiti kao uvertira ostvarenju uvođenja autonomnih vozila u prometni sustav.

Nadalje, razmatra se hoće li možda autonomna vozila biti potpuno odvojena od ostaloga prometa. To bi umanjilo rizik za ostale sudionike prometa, ali i znatno povećalo troškove nadogradnje postojeće infrastrukture.

Što se tiče cestovne infrastrukture koja će podržavati autonomna vozila, potrebni su standardizacija postojećih znakova i signala na međunarodnoj i globalnoj razini kao i njihovo redovito održavanje zbog osjetljivosti senzora pomoću koje takvo vozilo funkcionira.

Na temelju činjenice da uvođenje autonomnih vozila najviše ovisi o njihovoj prihvaćenosti u društvu, izrađen je anketni upitnik o prihvaćenosti navedenih vozila u Republici Hrvatskoj. Iz upitnika se dalo zaključiti kako hrvatska javnost još uvijek nije spremna za prihvaćanje takve tehnologije te da je zapravo šturo upoznata s istom.

Popis literature

- [1] Anderson J., Kalra N., Stanley K., Sorensen P., Samaras C., Oluwatola O.: *Autonomous Vehicle Technology; A Guide for Policymakers*
- [2] Taeihagh, Araz; Lim, Hazel Si Min: *Governing Autonomous Vehicles: Emerging Responses for Safety, Liability, Privacy, Cybersecurity, and Industry risks. Transport Reviews*
- [3] SAE Standards News: J3016 automated-driving graphic update <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>, pristupljeno u veljači 2020.
- [4] Martinez-Diaz M., Soriguera F., Pérez I.: *Autonomous Driving: A Birds Eye View*
- [5] LimeSurvey alat, <https://www.srce.unizg.hr/limesurvey>, pristupljeno u lipnju 2020.
- [6] Maurer M., Gerdes C., Lenz B., Winner H.: *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*, 2016.
- [7] Buehler M., Iagnemma K., Singh S.: *The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic*, Springer Tracts in Advanced Robotics series, 2010.
- [8] Carnegie Mellon University, General Motors–Carnegie Mellon Collaborative Research Labs; <http://www.cmu.edu/corporate/partnerships/gm-lab.shtml>, pristupljeno u veljači 2020.
- [9] Szikora P., Madarász N.: *Self-driving cars – human side*, 2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics
- [10] Levels of Automation <https://autoalliance.org/wp-content/uploads/2017/07/Automated-Vehicles-Levels-of-Automation.pdf>, pristupljeno u siječnju 2020.
- [11] Liu, S., Tang, J., Zhang, Z.: *Computer architectures for autonomous driving*, IEEE Comput. Archit. Lett., 2017.
- [12] Kočić J., Jovičić N., Drndarević V.: *Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles*, 2018.
- [13] Varghese J., Boone R.: *Overview of Autonomous Vehicle Sensors and Systems*, 2015.
- [14] Autonomous vehicles factsheet <http://css.umich.edu/factsheets/autonomous-vehicles-factsheet>, pristupljeno u travnju 2020.

- [15] Rajasekhar MV, Kumar Jaswal A: Autonomous Vehicles: The Future Of Automobiles
- [16] J. Wang, J. Liu and N. Kato, Networking and Communications in Autonomous Driving
- [17] Jiang D., Delagrossi L.: IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments
- [18] FHWA-JPO-15-28: Status of the dedicated short-range communications technology and applications - US Department of Transportation, 2015.
- [19] CC-03-324: 'Report and Order-Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850– 5.925 GHz Band (5.9 GHz Band)', 2003.
- [20] C-ITS Platform: 'Final report', 2016.
- [21] Wadud Z., MacKenzie D., Leiby P.: Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles, 2016.
- [22] Wagner P.: Traffic Control and Traffic Management in a Transportation System with Autonomous Vehicles, 2016.
- [23] Friedrich B.: The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic, 2016.
- [24] GEAR 2030 - High Level Group - Final report, 2017.
- [25] Bissel D., Birtchnell T., Hsu E.: Autonomous automobiles: The social impacts of driverless vehicles, Article in Current Sociology, 2018.
- [26] Schreurs M., Steuwer S.: Autonomous Driving—Political, Legal, Social, and Sustainability Dimensions, 2016.
- [27] Coca-Vila, I.: Self-driving cars in dilemmatic situations: An approach based on the theory of justification in criminal law. Criminal Law and Philosophy, 2018.
- [28] ERTRAC.: Automated driving road map. ERTRAC Working Group Connectivity and Automated Driving, 2017.
http://www.ertrac.org/uploads/images/ERTRAC_Automated_Driving_2017.pdf
- [29] Collingwood, L.: Privacy implications and liability issues of autonomous vehicles. Information & Communications Technology Law, 2017.

- [30] Hevelke, A., & Nida-Rümelin, J.: Responsibility for crashes of autonomous vehicles: An ethical analysis. *Science and Engineering Ethics*, 2015.
- [31] EP: Robots and artificial intelligence: MEPs call for EU-wide liability rules. European Parliament. <http://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20170210IPR61808/robotsand-artificial-intelligence-meps-call-for-eu-wide-liability-rules>, 2017.
- [32] Lee, C.: Grabbing the wheel early: Moving forward on cybersecurity and privacy protections for driverless cars. *Federal Communications Law*, 2017.
- [33] Bloomberg New Energy Finance: ‘Electric Vehicle Outlook 2017’, Bloomberg Finance, 2017.
- [34] Johnson C.: Readiness of the road network for connected and autonomous vehicles, CAS, 2017.
- [35] ASECAP (2015). Position paper on connected and automated driving. ASECAP. <http://www.asecap.com/official-positions.html>
- [36] ORR (*Office of Rail and Road*): Annual Assessment of Highways England’s Performance. 2016.
- [37] Ng, A.: When will self-driving cars be available to consumers? Quora. 2016.
- [38] Litman, T.: Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 2017.
- [39] Glancy, D.J., Peterson, R.W., & Graham, K.F.: A Look at the Legal Environment for Driverless Vehicles. NCHRP Legal Research Digest 69 Pre-publication Draft. Subject to Revision. National Academy of Sciences, 2016.
- [40] Gill, V., Kirk, B., Godsmark, P. & Flemming, B.: Automated Vehicles: The Coming of the Next Disruptive Technology. The Conference Board of Canada, 2015.
- [41] Liu Y., Tigh M., Sun Q., Kang R.: A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs), IOP Conf. Series, Journal of Physics, 2019.
- [42] Carreras A., Daura X., Erhart J., Ruehrup S.: Road infrastructure support levels for automated driving, 25th ITS World Congress, Copenhagen, Denmark, 2018.

[43] Weeratunga, K. & Somers, A.: Connected vehicles: are we ready? Internal report on potential implications for Main Roads WA, 2015.

[44] Schoettle B., Sivak M.: A Survey of Public Opinion about Autonomous and Self-Driving Vehicles in the U.S., U.K. and Australia, UMTRI, 2014.

Popis ilustracija

Slika 1 Prikaz senzora na autonomnom vozilu	9
Slika 2 Analitički obrazac metodologije	26

Popis tablica

Tablica 1 Razine autonomnosti [15]	5
Tablica 2 Prikaz ISA razina [42].....	31
Tablica 3 Prikaz rezultata demografskog dijela pitanja	35
Tablica 4 Prikaz rezultata pitanja o očekivanim prednostima autonomnih vozila.....	38
Tablica 5 Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz autonomna vozila	40

Popis grafikona

Grafikon 1 Općenito mišljenje o autonomnim vozilima	36
Grafikon 2 Razina autonomnosti u vlastitom automobilu	37
Grafikon 3 Prikaz rezultata o očekivanim prednostima autonomnih vozila	39
Grafikon 4 Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz autonomna vozila.....	41
Grafikon 5 Prikaz rezultata o očekivanim zabrinutostima uz autonomna vozila.....	41
Grafikon 6 Na što biste najviše trošili vrijeme vozeći se potpuno autonomnim vozilom.....	42
Grafikon 7 Biste li posjedovali autonomno vozilo ukoliko je to moguće.....	43
Grafikon 8 Koliko biste bili voljni izdvojiti kao bi posjedovali takvo vozilo.....	44



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA CESTOVNI PROMET**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 7.9.2020

(potpis)