

Analiza utjecaja podupirućih telematičkih tehnologija na razvoj umreženih autonomnih vozila

Vidović, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:272540>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

IVAN VIDOVIĆ

**ANALIZA UTJECAJA PODUPIRUJUĆIH TELEMATIČKIH
TEHNOLOGIJA NA RAZVOJ UMREŽENIH AUTONOMNIH
VOZILA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

Zagreb, 5. svibnja 2022.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Telematika u prijevoznim sredstvima**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6657

Pristupnik: **Ivan Vidović (0135229392)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Analiza utjecaja podupirujućih telematičkih tehnologija na razvoj umreženih autonomnih vozila**

Opis zadatka:

kroz ovaj rad student treba prikazati pregled razvoja mobilnih mreža, te usluge ITS-a u svrhu autonomnosti odvijanja prometa. Također, potrebno je postaviti model razvoja naprednog inteligentnog prometnog sustava. Potrebno je analizirati mogućnosti utjecaja 5G mreža na razvoj i implementaciju autonomnih vozila

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA UTJECAJA PODUPIRUJUĆIH TELEMATIČKIH
TEHNOLOGIJA NA RAZVOJ UMREŽENIH AUTONOMNIH
VOZILA**

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF SUPPORTING
TELEMATICS TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT
OF CONNECTED AUTONOMOUS VEHICLES**

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Ivan Vidović

JMBAG: 0135229392

Zagreb, 2023.

ZAHVALA

Hvala svima koji su vjerovali u mene.

Osobito se zahvaljujem svojoj zaručnici koja je bila puna podrške i razumijevanja.

Velika je moja zahvalnost i mentoru doc. dr. sc. Miroslavu Vujiću na podršci, pomoći te korisnim savjetima i sugestijama tijekom pisanja ovog diplomskog rada.

Najveće hvala mojoj obitelji koja me podupirala sve ove godine studiranja.

SAŽETAK

Naslov: Analiza utjecaja podupirajućih telematičkih tehnologija na razvoj umreženih autonomnih vozila

Razvoj podupirajućih tehnologija će pružiti veliku brzinu prijenosa podataka, nisku latenciju i pouzdanost, što bi moglo biti ključno za daljnji razvoj autonomnih vozila. Visoka brzina prijenosa podataka omogućuje vozilima da brzo preuzimaju i obrađuju velike količine podataka prikupljenih različitim tehnologijama i uređajima, npr. senzori, kamere itd. To će poboljšati sposobnost autonomnih vozila za brzo i precizno reagiranje na promjene u okruženju. Niska latencija 5G mreže omogućuje da se informacije između vozila i mreže prenose gotovo trenutno, čime se poboljšava vrijeme reakcije vozača na promjene u okruženju. To je posebno važno za autonomna vozila koja se mogu kretati velikim brzinama i moraju trenutno reagirati na promjene u prometu. Povećana pouzdanost 5G mreže smanjuje mogućnost gubitka signala ili prekida komunikacije između vozila i infrastrukture. Ovo je važno za autonomna vozila koja se oslanjaju na neprekidnu komunikaciju s drugim vozilima i infrastrukturom kako bi sigurno i učinkovito djelovala. Ukratko, 5G mreža će biti ključan faktor za daljnji razvoj autonomnih vozila, pružajući im velike brzine prijenosa podataka, nisku latenciju i povećanu pouzdanost. Ove karakteristike 5G mreže omogućit će autonomnim vozilima da brzo i precizno reagiraju na promjene u okruženju te da budu sigurnija i učinkovitija u svojim aktivnostima.

Ključne riječi: podupirajuće tehnologije, autonomna vozila, velika brzina prijenosa podataka, niska latencija, povećana pouzdanost, senzori, infrastruktura, sigurnost, učinkovitost

ABSTRACT

Title: Analysis of the Impact of Supporting Telematics Technologies on the Development of Connected Autonomous Vehicles

The development of supporting technologies will provide high data transfer speed, low latency and reliability, which could be crucial for the further development of autonomous vehicles. High data transfer rate allows vehicles to quickly download and process large amounts of data collected by various technologies and devices, e.g., Sensors, cameras, etc. This will improve the ability of autonomous vehicles to respond quickly and accurately to changes in the environment. The low latency of the 5G network allows information to be transmitted between the vehicle and the network almost instantaneously, improving the driver's reaction time to changes in the environment. This is especially important for autonomous vehicles that can move at high speeds and must react instantly to changes in traffic. The increased reliability of the 5G network reduces the possibility of signal loss or interruption of communication between the vehicle and the infrastructure. This is important for autonomous vehicles that rely on continuous communication with other vehicles and infrastructure to operate safely and efficiently. In short, the 5G network will be a key factor for the further development of autonomous vehicles, providing them with high data transfer speeds, low latency and increased reliability. These characteristics of the 5G network will allow autonomous vehicles to react quickly and precisely to changes in the environment and to be safer and more efficient in their activities.

Keywords: supporting technologies, autonomous vehicles, high data transfer rate, low latency, increased reliability, sensors, infrastructure, security, efficiency

Sadržaj

ZAHVALA	
1. UVOD	1
2. PREGLED RAZVOJA MOBILNE MREŽE	4
2.1. Retrospektiva mobilne mreža od 1G do 4G.....	5
2.2. Posebnosti 5G mreže.....	5
2.3. Tehnologije i izazovi 5G mreže.....	7
2.4. Konceptualizacija 6G mreža.....	10
3. USLUGE INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA U SVRHU AUTONOMNOSTI ODVIJANJA PROMETA	16
3.1. Pitanje tehnološke mogućnosti razvoja autonomnih vozila.....	18
3.2. Prepreke i ograničenja implementacije autonomnih vozila u postojeći prometni sustav	25
3.3. Prednosti autonomnog prometnog sustava.....	28
3.3.1. Socijalna davanja.....	28
3.3.2. Prednosti učinkovitosti	29
3.4. Izazovi vezani uz autonomna vozila	30
4. RAZVOJ NAPREDNOG INTELIGENTNOG PROMETNOG SUSTAVA	33
4.1. Povijesni pregled razvoja semaforiziranog raskrižja	34
4.2. Adaptivno upravljanje prometnim svjetlima	34
4.3. Inteligentni sustavi informiranja putnika i vozača.....	36
4.3.1. Usluga predputnog informiranja	37
4.3.2. Usluga putnog informiranja vozača	37
4.4. Sustav upravljanja incidentnim situacijama	38
5. ANALIZA MOGUĆNOSTI UTJECAJA 5G MREŽE NA RAZVOJ I IMPLEMENTACIJU AUTONOMNIH VOZILA	40
6. ANALIZA REZULTATA	49
7. ZAKLJUČAK	52
Popis literature	54
Popis ilustracija	60
Popis tablica	61
Popis grafikona	62

1. UVOD

Tehnološke promjene postavljaju nove izazove i generiraju razne mogućnosti na prometni sustav. Inovativne tehnologije u poziciji su da brže no nikada modificiraju pozicije života ljudi, ali i industrije. Otprilike svakih deset godina pojavljuje se nova generacija bežičnih mobilnih telekomunikacija tehnologija koju karakterizira korištenje novih frekvencijskih pojaseva, veće brzine prijenosa podataka i nove usluge koje doprinose korak bliže omogućavanju povezivanja gotovo cijelog fizičkog svijeta. Kako bi se razumio koncept 5G mreže, potrebno je kratko predložiti povijesni razvoj generacija mreža [1].

Era 5G koristi više frekvencijskih opsega i ima sposobnost povezivanja velikog broja uređaja na istoj mreži. To će osigurati kontinuitet, veću brzinu podataka, nižu latenciju, masivne istovremene veze i sveprisutnost mreže diljem svijeta, čak i u izazovnim situacijama za trenutni 4G kao što je visoka mobilnost (npr. vlakovi) i u vrlo gustim ili rijetko naseljenim područjima (npr. stadioni, trgovački centri) [2]. Osim toga, 5G se pokazuje kao ključan čimbenik za veliki utjecaj na autonomna vozila, pružajući platformu za povezivanje ogromnog broja senzora sa strogim ograničenjima energetske učinkovitosti i prijenosa [3].

Korisnički zahtjevi za unapređenje prometnih sustava iz dana u dan su sve veći. Jedan od glavnih razloga proizlazi iz činjenice da se gradovi razvijaju velikom brzinom što dovodi do sve većih zahtjeva prometnog sustava. Osnovne poteškoće koje se u gradskim sredinama svakodnevno događaju su prometne nesreće, zagušenja te ekološki problemi [4]. Tehnološki napredak mobilnih mreža dovodi i do razvoja umjetne inteligencije (UI) koja je ključna za daljnji razvoj naprednih sustava upravljanja prometom [5].

Danas se sve više teži definiranju koncepta pametnog grada u kojem je omogućena učinkovita komunikacija između svih elemenata prometnog sustava (vozila, infrastrukture, vozača), te se mobilna tehnologija nove generacije smatra potencijalno dobar temelj za razvoj takvog koncepta [6].

U diplomskom radu analizirat će se korisnički zahtjevi za unapređenje prometnog sustava, te na osnovu njih prikazati utjecaj razvoja 5G mreže na napredne sustave upravljanja prometom.

Ovaj rad će na sveobuhvatan način pružiti perspektivu o tome kako će podupirujuće telematičke tehnologije utjecati na pametne gradove, inteligentne prometne sustave, uključujući autonomna ili poluautonomna vozila, prometne komunikacije, kao i tehničke, ekonomske, te pravne izazove u narednim godinama.

Predmet ovog rada je traženje odgovora na pitanje u čemu se sastoje prednosti implementacije 5G mreža u prometni sustav, te koji su potencijalni nedostaci generiranja ovakvog utjecaja. Također, koliku ulogu imaju procesi globalizacije i centralizacije, kao i koji su korelati povezivanja 5G mreža i autonomnih vozila. Teoretska znanja i činjenice će poslužiti za pronalaženje ključnih značajki primjene principa tehnologije u poslovanju, pri čemu će se primarna okosnica odnositi na analizu utjecaja 5G mreže na autonomna vozila.

Svrha istraživanja je utjecaj razvoja mobilne mreže pete generacije (5G) na suvremene tehnologije upravljanja prometom. Cilj istraživanja je predložiti arhitekturu sustava s mogućim nusslugama u vidu sigurnosti prometnog sustava, prometne učinkovitosti, uštede energije, te smanjenje štetnih utjecaja za okoliš.

U ovom radu koristit će se analiza sekundarnih i tercijarnih dokumentarnih izvora te pretraživanje interneta i elektroničkih izvora. Provodit će se anketna metoda na uzorku hrvatskih ispitanika, te studija slučaja uspješnih svjetskih primjera razvoja autonomnih vozila, temeljenih na 5G mreži. Analizirat će se sekundarni i tercijarni izvori kao što su stručna literatura, znanstveni članci, knjige i podatci s internetskih stranica. Stručna literatura u obliku knjiga i znanstvenih članaka pružit će teorijski okvir istraživanja, dok će se pomoću elektroničkih izvora i ankete detektirati faktori uspješnosti modeliranja autonomnih vozila. Na temelju navedene analize podataka nastojat će se postići ciljevi istraživanja.

Očekivani rezultat istraživanja sadržan je u konceptualizaciji trenutnih korisničkih zahtjeva i postojećeg stanja upravljanja prometom, u cilju razumijevanja razvoja uloge mobilne mreže pete generacije (5G) u ITS-u. Mogućnost međusobne komunikacije između vozila, infrastrukture, mreže i svih sudionika u prometu omogućuje veliki broj

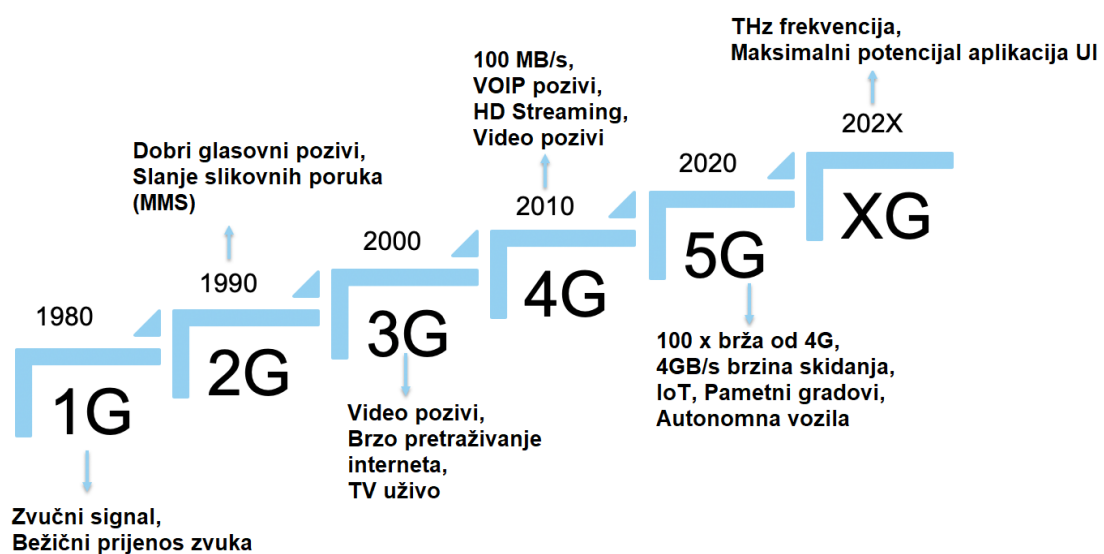
podataka koji se kvalitetnom obradom mogu iskoristiti. Na osnovi navedenog očekuje se oblikovati model arhitekture sustava, s analiziranim pratećim uslugama, koje bi se mogle razviti iz koncepta konvergentnog učinka 5G mreža na prometni sustav.

Ovaj rad sastoji se od šest poglavlja. U uvodnom poglavlju izložena je problematika, svrha i cilj te metode istraživanja i očekivani rezultati istraživanja. U drugom poglavlju objašnjen je razvoj mobilne mreže kroz generacije, posebosti tehnologije i izazovi 5G mreže, te je predstavljan koncept sljedeće generacije mobilne mreže. Usluge inteligentnih transportni sustava u svrhu autonomnosti odvijanja prometa objašnjene su u trećem poglavlju. Razvoj naprednih inteligentnih transportnih sustava kao i razni utjecaji i metode na sam sustav opisani su u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju analizirana je mogućnost utjecaja 5G mreže na razvoj i primjenu autonomnih vozila, kroz analizu podataka dobivenih anketiranjem. U posljednjem poglavlju je iznesen zaključak s obzirom na prethodna poglavlja diplomskog rada.

2. PREGLED RAZVOJA MOBILNE MREŽE

Mobilna mreža je posebna vrsta bežične tehnologije za mobilne telefone ili elektroničke uređaje, koji zahtijevaju mobilnu komunikaciju. Izvorno je izmišljeno od strane Marconija dok je pokušavao otkriti način prijenosa slova S pomoću Morseovih azbuka na elektromagnetskim valovima [7]. Kasnije je bežična komunikacija bila nadograđena na radijske, televizijske i satelitske prijenose, te je postala dostupnija i primjenjivija u mnogim područjima kao što su telekomunikacije ili zabava. Prateći razvoj tehnologije, brzinu prijenosa podataka, pokrivenost i spektralnu učinkovitost u kasnijim vrstama prijenosa, vidljivo je da je došlo do proširenja istih na sve skupine bežičnih mreža [8].

Postoji pet generacija mobilne bežične tehnologije, a na pomolu je šesta kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Evolucija bežične tehnologije [9]

Danas je 4G mreža široko rasprostranjena, te se koristi u cijelom svijetu i može besprijekorno podnijeti nekoliko korisničkih aktivnosti, npr. poput Streaming-a, bržeg surfanja internetom, video poziva. Međutim, kao posljedica rasta složenosti ljudskih problema i tehnologije, potreba za podacima u stvarnom vremenu ubrzano raste, što

zahtijeva novu tehnologiju. Takva bi tehnologija trebala moći riješiti kritičnije probleme, te pružiti više usluga u raznim domenama poput prometa, zdravstva ili obrazovanja.

2.1. Retrospektiva mobilne mreža od 1G do 4G

Prva generacija mobilne komunikacije 1G, uspostavljena je 1980-ih s maksimalnom brzinom prijenosa podataka od 2,4 Kbps i s velikim brojem nedostataka u pogledu kapaciteta i sigurnosti. U 1990-ima predstavljena je druga generacija, poznata po srodnoj tehnologiji - Globalni sustav za mobilne komunikacije¹ (GSM). U 2G mreži GSM može podržati glasovnu komunikaciju, uslugu kratkih poruka ili e-poštu. Dok 1G i 2G mreže koriste samo sklopke za prijenos podataka, 2.5G mreža koristi i sklop i pakete, kako bi osigurala do 144 Kbs brzine podataka. Nova tehnologija prebacivanja paketa, koja je lansirana u 2.5G mreži, nazvana je General Packet Radio Servis (GPRS) [6].

Uspostava 3G mreže 2000. godine poboljšala je prijenos brzine do 2Mbps čime je omogućena bolja usluga u svim aspektima, te slijedi standarde koje je postavila Međunarodna telekomunikacijska unija (ITU). Međutim, 3G uređaji imali su ključni nedostatak u pogledu potrošnje energije, obzirom da su zahtijevali više energije od 2G modela. Nakon uspjeha 3G, 3.75G odnosno LTE-a² njena značajka je bila da je sposobna rukovati s nekoliko usluga koje zahtijevaju veliku brzinu prijenosa podataka [6].

S naslijeđem 2G i 3G mreže, 4G mreža može osigurati visoku brzinu prijenosa podataka do 100Mbps i trošiti manje energije. U ovoj generaciji mobilnih mreža, korisnici mogu iskusiti video streaming visoke razlučivosti (HD), i brz pristup internetu.

2.2. Posebnosti 5G mreže

Peta generacija ili 5G mreža sljedeća je generacija bežičnih tehnologija, te je ona lansirana 2020. godine. U ožujku 2022. tvrtka za testiranje rekla je da su na temelju

¹ GSM

² long term evolution = LTE

javno dostupnih informacija 5G mreže pokrenute u 72 zemlje diljem svijeta, s 1947 gradova koji imaju 5G mreže [10].

Posebnost 5G mreža očituje se u sposobnosti prevladavanja nekih izazova 4G i LTE mreža u pogledu kapaciteta, brzina prijenosa podataka, End-to-End³ latencija, velikog broja veza, troškova, kao i kvalitete iskustva.⁴ Prvo, mrežni kapacitet 5G mreže 1000 puta je veći od 4G mreže. I dalje zastupljene 4G mobilne mreže uglavnom koriste frekvencijske pojaseve ispod 6 GHz što omogućuje pružanje pojedinačne širine pojasa od 5 do 20 MHz [11].

Postoje dva načina za poboljšanje brzine prijenosa podataka, a to su korištenje spektra i širenje pojasne širine. U praksi, proširenje propusnosti je lakše i izravnije od alternativnog rješenja. Kako je većina frekvencija ispod 6 GHz definitivno uobičajena i prenatrpana, u cilju povećanja propusnost mreže kod razvoja 5G, koristi se novi visokofrekventni pojas radio spektra. Ovaj spektar, tzv. milimetarski valovi, trenutno se koriste za komunikaciju između radara i satelita, te se kreću od 30 do 300 GHz. Međutim, milimetarski valovi također imaju neka ograničenja. Ne mogu putovati kroz fizičke prepreke poput zgrade ili drveće. Na njihovu izvedbu i snagu signala također utječu vremenski uvjeti, kao što su oblaci, kiša i vlaga. Drugi cilj 5G mreže je povećati brzinu prijenosa podataka. Ovo povećanje stope mjerljivo je kao 10 – 100 puta veće od 4G/LTE mreže, mjereno različitim metrikama, kao što su agregatna brzina prijenosa podataka, rubna brzina i vršna brzina. Ukupna brzina prijenosa podataka je ukupna količina podataka, koju mreža može poslužiti u nekom području. Ova metrika bi se trebala poboljšati oko 1000 puta u 5G mreži [11].

Što se tiče rubne brzine, definirane kao najlošije brzine prijenosa podataka koju krajnji korisnik može prihvatiti u mreži, 4G mreža ima rubnu brzinu od 1 Mbps. Stoga, treći cilj 5G mreže je implementacija najmanje 100 Mbps za 95% korisnika, što je vrlo izazovan problem iz perspektive tehnologije. Vršna stopa je još jedna metrika i obično se koristi u promicanju mobilne mreže. Vršna brzina je najbolji slučaj brzine prijenosa podataka koju korisnici mogu očekivati. 5G mreža bi trebala imati vršnu brzinu od otprilike 10 do 20 Gbps. Zatim, latencija je definirana kao povratno putovanje za slanje paketa od mjesta do odredišta i vraćanja pošiljatelju. Latencija 4G je oko 15

³ E2E

⁴ QoE

milisekundi, dok 5G mreža može smanjiti taj broj na manje od 1 milisekunde, kao i podržavati učinkovitije tehnologije temeljene na oblaku. Još jedna važna očekivana manifestacija načela i dizajna 5G mreže je poboljšanje u smislu postojanja većeg broja spojnih uređaja u mreži. Drugim riječima, gustoća mreže pokazuje mogućnost biti od 10 do 100 puta viša. 4G mreža može upravljati s oko 2000 aktivnih korisnika po četvornom kilometru, dok 5G može obraditi više od 100 000 povezivanja uređaja po kvadratnom kilometru. Zbog temeljnih promjena u tehnologiji 5G mreže, za rad je također potrebna manja potrošnja energije. Priroda kompletne bazne stanice s instalacijom u stanju mirovanja uglavnom smanjuje potrošnju energije uređaja. Štoviše, cijena je također niska i na održivoj razini. Konačno, poboljšanja u brzini prijenosa podataka, gustoći mreže, te potrošnji energije, koja dovodi do zadovoljnijeg korisničkog iskustva kada se koristi mrežu i s njom povezane aplikacije [11].

2.3. Tehnologije i izazovi 5G mreže

Kao što je spomenuto, milimetarski val⁵ igra ključnu ulogu u petoj generaciji bežične mreže. Trenutno u okviru 4G mreže korišteni spektar gotovo je zauzet, posebno na vrhuncu vremena i tržišta. Stoga je korištenje nove više frekvencije jedini učinkovit način povećanja propusnosti. Na sreću, visokofrekventni spektar od 30 – 300 GHz s valnim duljinama od 1 do 10 mm još uvijek je dostupno za korištenje [11].

Iako spektar milimetarskog vala može imati visoku kvalitetu širenja, on također stvara nekoliko izazova koji se odnose na njegovo širenje i korištenje uskog snopa. Postoje tri glavna izazova u širenju spektra milimetarskog vala, a to su gubitak putanje, blokiranje i apsorpcija [11].

Za razliku od niskofrekventnih valova koji mogu putovati kao temeljni val u slučaju difrakcije, visokofrekventni valovi, posebno spektar milimetarskog vala lako se difragiraju i blokiraju prepreke zbog karakteristike elektromagnetskog zračenja. Drugi faktor koji može utjecati na širenje spektra milimetarskog vala je atmosfera i apsorpcija kiše. Unutar pojasa od 60 GHz, apsorpcija kisika od 15 dB/km je kritična, ali postaje manje značajna u urbanom području gdje je udaljenost bazne stanice oko 200 metara.

⁵ mmWave

Međutim, apsorpcija atmosfere i zraka također pomaže da se poboljša odvajanje svake izolirane bazne stanice. Rješenje problema s propagacijom je istraženo i riješeno, ali drugi problem spektra milimetarskog vala je to što je koncept uskog snopa još uvijek nov u komunikaciji [12].

Problem uskog snopa je teškoća formuliranja veze između korisnika i bazne stanice za pristup i predaju traženjem velikog broja kutnih položaja. Koncept uskog snopa također zahtijeva novu arhitekturu primopredajnika za pretvorbu između analognog i digitalnog, kao i za veliku propusnost energetske učinkovitosti [12].

Pored spomenutog ograničenja visokofrekventnog spektra s obzirom na poteškoće u kretanju kroz prepreke, 5G mreža također zahtijeva visoku brzinu prijenosa podataka, veliki broj uređaja za povezivanje i nisku End-to-End latenciju. Stoga je jedna od temeljnih tehnologija koja se koristi za rješavanje ovih zahtjeva višeslojna heterogena arhitektura. Mreža 4G uglavnom koristi jednoslojnu arhitekturu što znači da zahtijevaju veliki broj makročelija, zbog velike potrošnje energije, kako bi pokrili korištenje svih uređaja u rasponu stanice. Za razliku od jednoslojne arhitekture, višeslojna arhitektura je heterogena, te koristi mali broj makročelija i veliki broj mikročelija niske snage potrošnje. Višeslojna heterogena mreža sastoji se od malog broja makročelija za rukovanje svim vezama u mreži i povećanje gustoće mreže u usporedbi s jednoslojnim tipom. Kada je veličina ćelije smanjena, spektar se može više ponovno koristiti i kao rezultat toga, povećava se učinkovitost mreže. Štoviše, mreža može povećati pokrivenost postavljanjem malih ćelija u zatvorenim prostorima kao što su kuće, poslovne zgrade, vozila itd. Unutarnje bazne stanice omogućuju rješavanje problema spektra visokih frekvencija o ograničenju prijenosa kroz fizičke objekte. Dodatno, komunikacija Peer-to-Peer⁶, Device-to-Device⁷ ili Machine-to-Machine⁸ poboljšana je dopuštanjem drugim čvorovima, umjesto čvora makročelije, da vrše kontrolu komunikacija. Kada se pokrene komunikacija, podaci se prenose izravno s jednog čvora na drugi pojedinačni čvor bez uloge agenta čvora makročelije. Za rješavanje heterogenosti, između slojeva i unutar slojeva komunikacije, 5G arhitektura treba primijeniti upravljanje smetnjama [13].

⁶ P2P

⁷ D2D

⁸ M2M

Postoji nekoliko poteškoća u upravljanju smetnjama koje se odnose na pridruživanje ćelija, kontrolu snage, istodobnu povezanost s više baznih stanica, kao i suradnju, te koordinaciju između više razina [13].

Komunikacija uzlazne veze usredotočena je na ublažavanje smetnji, kao i smanjenje potrošnje bazne stanice kako bi se povećala učinkovitost spektra. U smjeru silazne veze, pokrivenost i ravnoteža prometnog opterećenja svake ćelije podrazumijeva da baznu stanicu treba poboljšati, kako bi se zadržala kvaliteta komunikacije. Štoviše, snaga prijenosa u silaznoj vezi ovisi o snazi baterije korisničkog uređaja, ali se ne razlikuje značajno među korisnicima. Prema tome, nema optimalnog rješenja za uzlaznu i silaznu vezu, te bi integrirani okvir trebao biti u mogućnosti ponuditi optimalno ili gotovo optimalno rješenje za obje veze [13].

Za razliku od shema prioritetne klase pristupa kanalu⁹, 5G mreža omogućuje jednom korisniku da se istovremeno spoji na nekoliko baznih stanica. Stoga je arhitektura dizajnirana tako da poveća propusnost sustava i omjer ispada, posebno za ćeliju korisnika na rubu. Zbog asimetrije prijenosne snage kod uzlazne i silazne veze, najveća silazna veza može se dobiti povezivanjem s makroćelijama, a najviša uzlazna veza može se dobiti od obližnjih drugih mikroćelija. Stoga, suradnja između baznih stanica u različitim razinama zahtijeva prepoznavanje lokacije korisnika i uvjete kanala kako bi se moglo donijeti odluku o poboljšanju komunikacijskog spektra i energetske učinkovitosti u mreži [13].

Jedna od tehnologija koje su implementirane u 5G mrežu za ispunjavanje zahtjeva za korištenje spektra je dijeljenje ili dodjela spektra. Trenutno postoje dvije vrste spektra koji se koriste za bežičnu mrežu, a to su licencirani i nelicencirani spektar. S jedne strane, mobilna mreža koristi licencirani spektar, pri čemu su frekvencijski pojasevi fiksni ovisno o zemlji i operateru. Učinkovitost licenciranog spektra je visoka, ali je neučinkovita u situaciji slabog prometnog opterećenja, jer je operateru zabranjeno koristiti resurse spektra drugog operatera [14].

S druge strane, nelicencirani spektar koji se koristi u bežičnoj LAN tehnologiji može upravljati s više mreža u istom spektru, ali kvaliteta usluge opada kada se prometno opterećenje poveća. Stoga 5G mreža može iskoristiti resurse definiranjem primarnog

⁹ CAPS - Channel Access Priority Class

i sekundarnog spektra mijenjanjem metoda za održavanje visoke kvalitete usluge i u normalnim slučajevima, kao učinkovitost spektra pri malom prometnom opterećenju [14].

Još jedna prednost 5G mreže je poboljšanje peer komunikacije kao što je komunikacija uređaj-uređaj¹⁰. Postoje dvije glavne razine komunikacije u 5G mreži, koje su na razini makroćelija-mikroćelija ili na razini uređaja. S jedne strane, razine makroćelija sastoje se od bazne stanice koja komunicira s uređajima kao ortodoksni mobilni sustav. S druge strane, razina uređaja sastoji se od nekoliko uređaja, koji se mogu povezati i međusobno prenositi informacije. U slučaju uređaja spojenog izravno na baznu stanicu, komunikacija se razmatra na razini makroćelije. Inače, ako je uređaj spojen izravno na druge uređaje ili ako je neizravno povezan s baznom stanicom korištenjem nekih uređaja za reprodukciju, te su komunikacije klasificirane kao radne na razini uređaja [14].

Obično se komunikacija odvija na razini makroćelije, ali navedeno je slučaj unutar zagušene mreže ili uređaja na rubovima mreže, dok se komunikacija na razini uređaja stvara za prijenos podataka. U D2D komunikaciji ili komunikaciji na razini uređaja, bazne stanice mogu u potpunosti ili djelomično kontrolirati dodjelu resursa, ako je komunikacija od izvora do odredišta uspješno pokrenuta [14].

Jedna od ključnih tehnologija koja omogućuje 5G mreža je MIMO (engl. *Multiple-Input Multiple-Output*) tehnologija, s više prijemnih i odašiljačkih antena. Ova tehnologija omogućuje znatna poboljšanja u propusnosti i dometu bez upotrebe povećanja frekvencijskog opsega ili odašiljačke snage [15].

2.4. Konceptualizacija 6G mreža

Aktivnosti standardizacije komunikacija pete generacije očito su završile i globalno je došlo do implementacije. Kako bi održali konkurentsku prednost bežičnih mreža, industrijska i akademska sinergija započele su konceptualizirati sljedeću generaciju bežičnih komunikacijskih sustava (naime, šestu generaciju, (6G)) s ciljem postavljanja temelja za stratifikaciju komunikacijskih potreba 2030-ih [8]. Nove aplikacije u

¹⁰ D2D komunikacija

poboljšanoj mobilnoj širokopojasnoj mreži¹¹ masivnoj komunikaciji strojnog tipa¹² i ultra pouzdane komunikacije niske latencije¹³ potaknule su istraživanje i razvoj pete generacije bežičnih sustava 5G. Sada, 2022. godine (5G) je već raspoređen u mnogim zemljama širom svijeta, obećavajući da će pružiti brzine prijenosa podataka do 20 Gbps, latencije od samo 1 ms i masivnu povezanost između uređaja [8].

Unatoč značajnim poboljšanjima performansi koje 5G nudi u odnosu na prethodne generacije, zahtjevi za dugo očekivane internet stvari tek predstoje biti ispunjene. Osim toga, mnoge aplikacije predviđene za 2030-e zahtijevaju dodatnih 1000 x povećanje brzine prijenosa podataka i latencije manje od 0,1 ms [3,4], a za uspješnu implementaciju potrebno je definirati i nove ključne pokazatelje učinkovitosti¹⁴ revolucionarnih tehnologija sljedećeg desetljeća. Još važnije, ove nove aplikacije i slučajevi upotrebe zahtijevaju istovremeno ispunjavanje nekoliko ključne pokazatelje učinkovitosti i tradicionalni kompromisi prisutni u prethodnim generacijama možda više neće biti prihvatljivi [8].

Stoga se sa sigurnošću može očekivati revizija postojećih bežičnih sustava za šestu generaciju (6G), puno više od samo poboljšanja trenutnih 5G sustava.

Bežični komunikacijski sustavi su veliko postignuće našeg vremena s obzirom na brze tehnološke inovacije u posljednjim desetljećima i tehnologije simetrije za internet stvari¹⁵. Do danas, kako je navedeno u prethodnim poglavljima, postoji pet (5) generacija mobilnih bežičnih mobilnih komunikacijskih sustava, a posljednja generacija je bežična mreža pete generacije (5G).

Općenito, posljednje desetljeće svjedočimo ogromnom razvoju bežičnih komunikacija što je dovelo do uspješnih aplikacija, uključujući multimediju, online igranje i video streaming visoke razlučivosti. Procvat mobilne internetske tehnologije je katalizator koji omogućuje i širi različite najsuvremenije korisnički definirane usluge, kao što su mobilna kupnja i plaćanje, pametne kuće/gradovi i mobilno igranje [8]. Standardizacija

¹¹ EMBB

¹² mMTC

¹³ uRLLC

¹⁴ KPI

¹⁵ IoT

5G komunikacija je dovršena, te je ovaj sustav postavljen, odnosno već se i postavlja diljem svijeta.

Južna Koreja bila je prva nacija koja je usvojila značajnu implementaciju 5G. Općenito, procjenjuje se da će blizu 65% svjetske populacije dobiti pristup 5G super brzom 5G internetskoj pokrivenosti do kraja 2025. godine. 5G mreže u stanju su isporučiti velik izbor usluga koje uključuju poboljšanu mobilnu širokopojasnu vezu¹⁶, ultra pouzdane komunikacije niske latencije¹⁷ i komunikacije masivnog strojnog tipa¹⁸ [8].

Međutim, očekuje se da će količina bežičnog podatkovnog prometa i veličina povezanih stvari skočiti na stotinu puta opremu u danom kubnom metru. Štoviše, aplikacije podataka, poput slanja holografskih videozapisa, trebaju propusnost spektra koja trenutno nije dostupna u mm-valnom spektru. Ova situacija predstavlja teške izazove za područje ili prostornu spektralnu učinkovitost i potrebne pojaseve frekvencijskog spektra za povezivanje. Stoga je veća širina pojasa radio frekvencijskog spektra postala nužna i može se pronaći samo na sub-terahertz (THz) i THz pojasi [8]. Štoviše, nedavni porast raznovrsnih mobilnih aplikacija, posebno onih koje podržava tehnologija umjetne inteligencije (AI), potiče žestoke rasprave o budućem razvoju bežičnih komunikacija. Ovi izazovi motivirali su industriju i akademsku zajednicu da počnu konceptualizirati sljedeću generaciju bežičnih komunikacijskih sustava (6G) usmjerenu na pružanje komunikacijskih usluga za buduće zahtjeve 2030-ih i održavanje održivosti i konkurentnosti bežičnih komunikacijskih sustava. Stoga se očekuje da će 6G komunikacijski sustavi pružiti veliku pokrivenost koja omogućuje pretplatnicima da međusobno komuniciraju posvuda uz veliku brzinu prijenosa podataka zbog nekonvencionalnih tehnologija koje će usvojiti 6G komunikacijski sustavi, kao što je iznimno velika propusnost, zahvaljujući THz-nim valovima i visokoj umjetnoj inteligenciji¹⁹, koji uključuju operativne i ekološke aspekte, kao i usluge mreža [8].

Prvi ikada simpozij o 6G bežičnoj staničnoj mobilnoj komunikaciji održan je u ožujku 2019. i može se uokviriti u jednu veliku izjavu o viziji sveprisutne bežične inteligencije.

¹⁶ eMBB

¹⁷ uRLLC

¹⁸ mMTC

¹⁹ AI

Očekuje se da će 6G sustav doživjeti revoluciju bez premca koja će ga značajno razlikovati od postojećih generacija i drastično će preoblikovati bežičnu evoluciju od povezanih stvari do povezane inteligencije. Konkretno, 6G će nadmašiti mobilni internet i od njega će se tražiti da podržava sveprisutne usluge umjetne inteligencije od jezgre do krajnjih uređaja mreže. U suštini, umjetna inteligencija će biti pokretačka snaga u dizajniranju i optimiziranju 6G arhitektura, protokola i operacija [16].

Izazovi povezani sa 6G komunikacijama proizlaze iz pet ključnih komponenti uključujući osiguranje mrežne sigurnosti i provedbu privatnosti podataka, postizanje isplativog pristupa brzom postavljanju i širenju mreže s naglaskom na udaljena i samostalna područja, smanjenje cijene mobilnih usluga, korištenje komunikacija, pristupe produljenja vijeka trajanja baterije mobilne opreme i postizanja visoke brzine prijenosa podataka podržane end-to-end, ultra-pouzdanim režimom niske latencije. Naime, nemoguće je zadovoljiti sve karakteristike. Unatoč tome, trebali bi postojati kompromisi između ovih značajki, što dovodi do delikatne ravnoteže između potreba i želja. Evidentno je da će biti potrebno niz kompromisa uključujući ključne izazove i potencijalna rješenja za 6G komunikacije [16].

Realizacija ove tehnologije može dovesti do ukidanja mrežnog modela međusobnog povezivanja otvorenih sustava i usvajanja dizajna višeslojnog komunikacijskog sustava. Među slojna arhitektura trebala bi zadovoljiti stroge potrebe ovih tehnologija. [16]

Stoga se očekuje da će 6G komunikacija podići ljestvicu koju trenutno postavlja 5G komunikacija uz pružanje poboljšanih usluga iz perspektive dostupnosti mrežnih podataka, brzine prijenosa mobilnih podataka i besprijekorne sveprisutne veze. Osim toga, 6G komunikacije koristit će neobičan komunikacijski pristup kako bi prihvatile različite kategorije mobilnih podataka i slale ih putem tradicionalnog poboljšanog radija frekvencijske mreže. Takav će proces omogućiti novi bežični prijenos osjećaja uz virtualnu prisutnost i sudjelovanje [17].

Dakle, 6G bežični sustavi uključuju, ali nisu ograničeni na super-pametani grad, holografsku komunikaciju, bežičnu interakciju između mozga i računala, taktilne/haptičke komunikacije, komunikacije između čipova, prijenos informacija s pet

osjetila, precizna poljoprivreda, povezana autonomna vozila, Internet svega i tele kirurgiju [17].

Osim zahtjeva o brzini prijenosa podataka, kašnjenju, pouzdanosti, povezivosti itd., od 6G aplikacija očekuju se strogi zahtjevi u pogledu energetske učinkovitosti.

Tradicionalno se energetska učinkovitost uvelike zanemaruje pri određivanju performansi ciljeva različitih primjena, a to je zato što je poboljšanje energetske učinkovitosti konvencionalno povezano s konzervativnom upotrebom energije, izravna posljedica čime se žrtvuju druge metrike izvedbe, npr. propusnost, pouzdanost, pokrivenost, itd. 6G, međutim, traži rješenja koja mogu jamčiti energetske učinkovite rad uređaja i aplikacija, istovremeno osiguravajući ispunjenje ostalih performansi [17].

Posljednjih se godina prikupljanje energije smatra učinkovitim rješenjem za zadovoljavanje zahtjeva energetske učinkovitosti bežičnih komunikacijskih mreža i rješavanje nepoželjnih kompromisa između energetske učinkovitosti i drugih ključnih pokazatelja učinka. Uzimanjem energije, uređaji će moći prikupiti potrebnu energiju iz okoline, što će im omogućiti rad bez postojanja zabrinutosti zbog problema s pražnjenjem baterije [18].

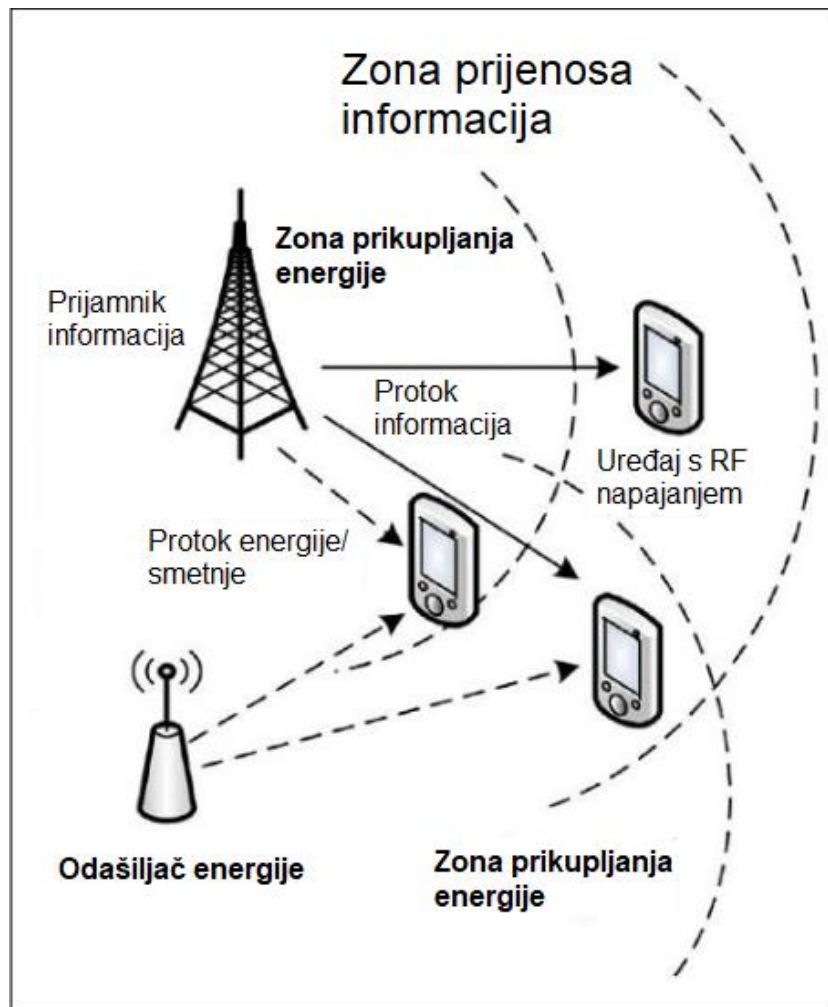
Osim konvencionalnih metoda prikupljanja energije kao što su solarna, toplinska, strujna i vibracijska energija, relativno nova tehnologija prikupljanja radio frekvencijske energije²⁰ je paradigma koja obećava s velikim potencijalom da bude 6G moderator. Zajedno s induktivnim i magnetskim rezonantnim spajanjem, radio frekvencijski prijenos energije je potklasa tehnologija bežičnog prijenosa energije²¹[19].

U usporedbi s druge dvije tehnologije bežičnog prijenosa energije, prijenos energije temeljen na radiofrekvenciji smatra se kao skalabilno i pouzdano rješenje za napajanje ogromnog broja uređaja u IoT i IoE eri s omogućenom 6G jer njegovo funkcioniranje nije ovisno o usklađenosti između odašiljača i prijemnika [19].

Slika 2. prikazuje primjer arhitekture WET omogućene mreže, gdje se uređaji napajaju prikupljanjem RF energije.

²⁰ RFE

²¹ WET



Slika 2. 6G mreža omogućena za bežični prijenos energije [19]

Osim odašiljača energije, koji bežično prenosi energiju na zahtjev, prijamnik informacija također može djelovati kao izvor energije za uređaje s RF napajanjem. Drugim riječima, informacijski signali također nose energiju koju mogu pokupiti uređaji koji nisu namijenjeni biti primatelji informacija. Na taj način, neželjeni informacijski signal koji se tradicionalno smatrao nepoželjnim smetnjama sada može biti koristan izvor energije uz tehnike prikupljanja RF energije [19].

3. USLUGE INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA U SVRHU AUTONOMNOSTI ODVIJANJA PROMETA

Inteligentni transportni sustavi (ITS) predstavljaju skup naprednih tehnologija i usluga koje se koriste za poboljšanje sigurnosti, učinkovitosti i održivosti prometa. Jedna od glavnih primjena ITS-a je povećanje autonomnosti odvijanja prometa, što se može postići kombiniranjem temeljnih usluga ITS-a. Međunarodna organizacija za normizaciju ISO²² definirala je skup od 32 temeljne usluge unutar ITS-a. Prema ISO 14813-1:2007 to su:

1. Predputno informiranje (engl. *Pre-trip Information*)
2. Putno informiranje vozača (engl. *On-trip Driver Information*)
3. Putno informiranje u javnom prijevozu (engl. *On-trip Public Transport Information*)
4. Osobne informacijske usluge (engl. *Personal Information Services*)
5. Rutni vodič i navigacija (engl. *Route Guidance and Navigation*)
6. Podrška planiranju prijevoza (engl. *Transport Planning Support*)
7. Vođenje prometnog toka (engl. *Traffic Control*)
8. Nadzor i otklanjanje incidenata (engl. *Incident Management*)
9. Upravljanje potražnjom (engl. *Demand Management*)
10. Nadzor nad kršenjem prometne regulative (engl. *Policing/Enforcing Traffic Regulations*)
11. Upravljanje održavanjem infrastrukture (engl. *Infrastructure Maintenance Management*)
12. Poboljšanje vidljivosti (engl. *Vision Enhancement*)
13. Automatizirane operacije vozila (engl. *Automated Vehicle Operation*)
14. Izbjegavanje čelnih sudara (engl. *Longitudinal Collision Avoidance*)
15. Izbjegavanje bočnih sudara (engl. *Lateral Collision Avoidance*).
16. Sigurnosna pripravnost (engl. *Safety Readiness*)
17. Sprečavanje sudara (engl. *Pre-crash Restraint Deployment*)
18. Odobrenja za komercijalna vozila (engl. *Commercial Vehicle Pre-Clearance*)

²² ISO International Standardization Organization

19. Administrativni procesi za komercijalna vozila (engl. *Commercial Vehicle Administrative Processes*)
20. Automatski nadzor sigurnosti cesta (engl. *Automated Roadside Safety Inspection*)
21. Sigurnosni nadzor komercijalnog vozila na instrumentnoj ploči (engl. *Commercial Vehicle On-board Safety Monitoring*)
22. Upravljanje komercijalnim voznim parkom (engl. *Commercial Fleet Management*)
23. Upravljanje javnim prijevozom (engl. *Public Transport Management*)
24. Javni prijevoz na zahtjev (engl. *Demand-Responsive Public Transport*)
25. Upravljanje zajedničkim prijevozom (engl. *Shared Transport Management*)
26. Žurne objave i zaštita osoba (engl. *Emergency Notification and Personal Security*)
27. Upravljanje vozilima žurnih službi (engl. *Emergency Vehicle Management*)
28. Obavještanje o opasnim teretima (engl. *Hazardous Materials and Incident Information*)
29. Elektroničke financijske transakcije (engl. *Electronic Financial Transactions*)
30. Zaštita u javnom prijevozu (engl. *Public Travel Security*)
31. Povećanje sigurnosti „ranjivih” cestovnih korisnika (engl. *Safety Enhancement for Vulnerable Road Users*)
32. Inteligentna čvorišta i dionice (engl. *Intelligent Junctions and Links*) [21]

Sve ove usluge mogu se kombinirati kako bi se postigla potpuna autonomija odvijanja prometa, smanjili troškovi vožnje samim tim i smanjenja utjecaja CO₂ na okoliš, povećala sigurnost i učinkovitost prometa te poboljšala iskustva korisnika.

Zbog sve veće potražnje za mobilnošću, izazovi poput financiranja, rješavanja problema emisija i nestabilnih cijena nafte su naglašeni. Donositelji odluka u područjima politike i planiranja moraju se pozabaviti ovim izazovima i pokušati razviti prometni sustav koji može zadovoljiti buduće potrebe društva i gospodarstva. Stoga postoji potreba za koncepcijama budućeg sustava kao smjernicama za odluke [20].

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća mobilnost i prijevoz morali su se suočiti s procesom promjena koji još uvijek traje. Potražnja za mobilnošću, obujam prometa i,

uz to, potreba za prometnom infrastrukturom dodatno raste, dok rastuća i vrlo volatilna cijena nafte predstavlja izazov za gospodarstvo i društvo. Istodobno, donositelji odluka u politici i planiranju moraju se nositi s financijskom krizom koja rezultira nedostatkom novca za održavanje i proširenje prometne infrastrukture te se moraju pozabaviti klimatskim promjenama smanjenjem emisije CO₂ i potrošnje energije. Kako se očekuje pogoršanje situacije, što dovodi do temeljne promjene, očekuje se transformacija prometnog sustava, što bi ujedno trebalo utjecati na razumijevanje mobilnosti [20].

3.1. Pitanje tehnološke mogućnosti razvoja autonomnih vozila

Konvergencija tehnologije i grada smatra se mogućim lijekom za prevladati izazove urbanizacije kao što su klimatske promjene, zagušenja i emisije stakleničkih plinova.²³ Promet, kao sastavni dio grada, odgovoran je za otprilike jednu četvrtinu do jedne trećine emisija stakleničkih plinova. Naziv pametne urbane mobilnosti postaje ključni koncept suvremene agende urbane politike za rješavanje neželjenih učinaka prometa. Kao izvorno zamišljen unutar agende pametnih gradova, koncept pametne urbane mobilnosti je karakteriziran integracijom održivih i pametnih tehnologija vozila, kao i kooperativnih inteligentnih transportnih sustava²⁴ putem poslužitelja u oblaku i mreže za vozila temeljene na velikim podacima [22].

Drugim riječima, pametna urbana mobilnost je konceptualizirana kao usluge gradskog prometa u kombinaciji s pametnim tehnologijama. Bez sumnje jedna od najnaprednijih aplikacija koja koristi brojne alate ITS-a, kao dijela pametnog gradskog transportnog sustava je autonomno vozilo²⁵ ili vozilo bez vozača [23].

Autonomna vozila su vozila koja su sposobna samostalno upravljati bez ljudske intervencije. Potrebno je ukazati i na to da se samostalna vožnja vozila i autonomna vozila razlikuju po stupnju autonomnosti. Potpuno autonomno vozilo je ono koje može upravljati bez potpune ljudske intervencije na putu od točke A do točke B. Razvoj

²³ GHG

²⁴ C-ITS

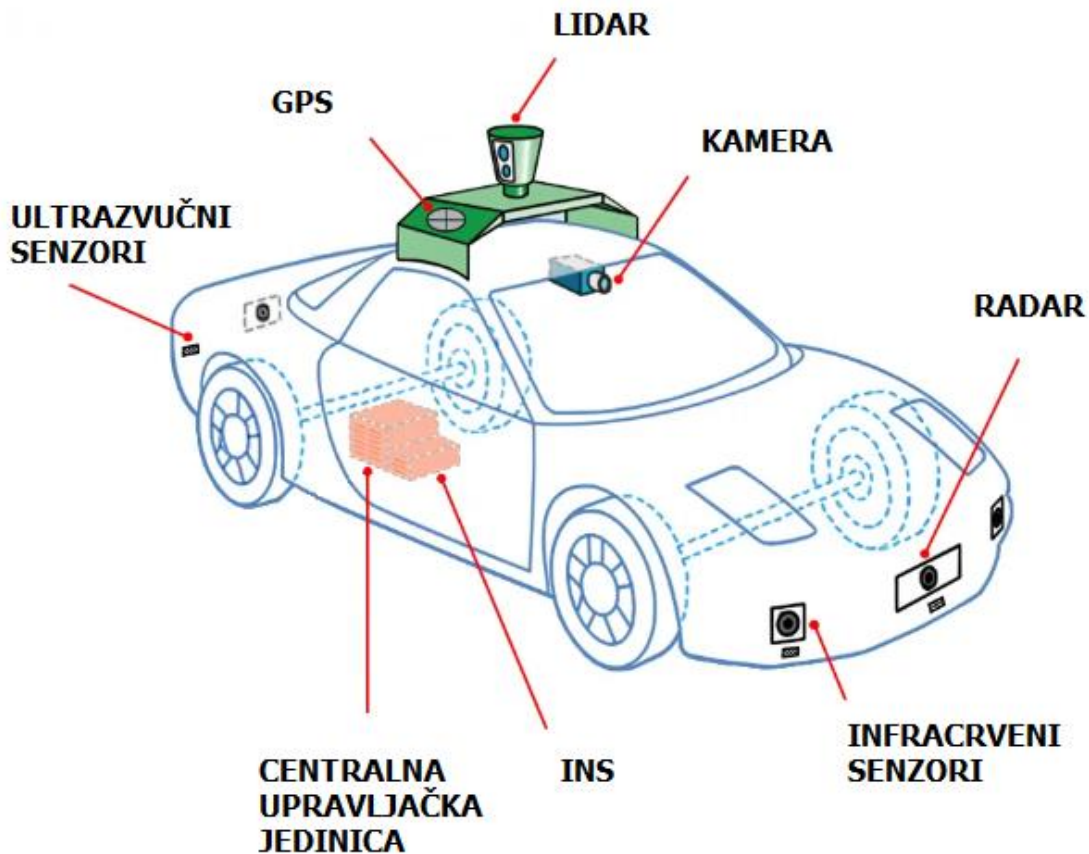
²⁵ AV

autonomnih vozila uvelike ovisi o tehnološkim mogućnostima koje se trenutno razvijaju ili su već dostupne na tržištu [24].

Neki od ključnih tehnologija za razvoj autonomnih vozila su:

- Sensorski sustavi – autonomna vozila koriste različite vrste senzora poput kamera, RADAR-a. (engl. *Radio Detecting and Ranging*), LIDAR-a (engl. *Ligth Detection and Ranging*) i ultrazvučnih senzora kako bi prikupljali informacije o okolini i drugim vozilima na cesti.
- Računalni vid – ova tehnologija koristi računalnu viziju kako bi autonomna vozila prepoznala objekte na cesti poput vozila, pješaka, biciklista i drugih prepreka.
- Umjetna inteligencija (AI) – AI se koristi kako bi se autonomnim vozilima omogućilo učenje i prilagođavanje promjenjivim uvjetima u stvarnom vremenu.
- Komunikacijski sustavi – autonomna vozila koriste tehnologiju komuniciranja kako bi razmjenjivala informacije s drugim vozilima na cesti i infrastrukturi, poput semafora, kako bi se poboljšala sigurnost i učinkovitost.
- Samo-vozeći softver – ova tehnologija omogućava autonomnim vozilima da analiziraju prikupljene podatke i donose odluke o upravljanju vozilom, uključujući brzinu, smjer i kočenje.
- Napredni upravljački sustavi – to uključuje sustave za upravljanje brzinom, praćenje trake, prepoznavanje znakova i drugih funkcija koje pomažu u vožnji [24].

Na slici 3. je vidljiva opremljenost vozila različitim tehnologijama i sensorima kako bi se postigli uvjeti za autonomnu vožnju.



Slika 3. Prikaz tehnologija autonomnih vozila [25]

Razvoj autonomnih vozila uvelike ovisi o napretku u ovim tehnologijama. Trenutno se radi na daljnjem razvoju i unapređenju ovih tehnologija kako bi se postiglo potpuno autonomno vozilo koje bi moglo voziti bez ljudske intervencije na svim cestovnim uvjetima.

Autonomna vozila imaju različite tehnološke i funkcionalne razine koje definiraju stupanj njihove autonomnosti. Da bi se postavili dogovoreni standardi rano u prijelazu na autonomna vozila, društvo automobilskih inženjera²⁶ razvilo je sustav klasifikacije koji definira stupanj autonomnosti vožnje koji automobil i njegova oprema mogu ponuditi [26].

Ako vozilo ima sustave podrške vozaču nulte, prve ili druge razine, potreban je aktivan i angažirani vozač. Čovjek je ovdje uvijek odgovoran za rad vozila, te mora cijelo

²⁶ SAE

vrijeme nadzirati tehnologiju, kao i preuzeti potpunu kontrolu nad vozilom kada je potrebno. U budućnosti, ako vozilo ima treću, četvrtu ili petu razinu sustava autonomnosti vožnje, tehnologija preuzima potpunu kontrolu nad vožnjom bez ljudskog nadzora [26].

Međutim, s trećom razinom, ako vozilo upozori vozača i zahtijeva da preuzme kontrolu nad vozilom, osoba mora biti spremna i sposobna učiniti tako [26].

Prema nalazima studije koju su proveli Choksey i suradnici, ovo su različite razine autonomnosti vožnje:

- Nulta razina autonomnosti (engl. „*no automation*“) – nema autonomnosti vožnje

Razina nula odnosi se na vozilo koje nema tehnologiju autonomnosti vožnje. U ovom slučaju, vozač je u potpunosti zadužen za upravljanje kretanjem vozila, uključujući upravljanje, ubrzavanje, kočenje, parkiranje i sve ostalo potrebno za manevar za pomicanje automobila u bilo kojem smjeru. Međutim, na razini nula, sustavi za podršku vozaču koji mogu privremeno intervenirati tijekom vožnje mogu biti prisutni. Primjeri uključuju kontrolu stabilnosti, upozorenje za sudar naprijed, automatsko kočenje u nuždi, upozorenje na mrtvi kut i pomoć u održavanju vozne trake. Te se tehnologije smatraju razinom 0, jer ne pokreću vozilo, ali nude upozorenja ili trenutnu akciju u određenim situacijama [27].

- Prva razina autonomnosti (engl. „*hands on*“) – pomoć vozaču

Na razini jedan, najnižoj stepenici autonomnosti, vozilo ima najmanje jednu podršku sustavu za vozača, koja pruža pomoć pri upravljanju ili pomoć pri kočenju i ubrzanju. Vozač ostaje odgovoran za upravljanje vozilom i mora biti spreman na preuzimanje kontrole u bilo koje vrijeme i iz bilo kojeg razloga. Adaptivni tempomat je primjer tehnologije za pomoć vozaču razine jedan. To održava sigurnu udaljenost između vozila i prometa ispred bez intervencije vozača. Značajka pomoći pri upravljanju, kao što je pomoć pri centriranju trake ili pomoć pri praćenju trake, također bi se kvalificirala kao prva razina autonomije vozila [27].

Međutim, vozilo s obje ove značajke koje djeluju zajedno kvalificira se kao druga razina autonomnosti vožnje.

- Druga razina autonomnosti (engl. „*hands off*“) – djelomična autonomnost vožnje

Druga razina autonomnosti vožnje odnosi se na vozila s naprednom pomoći u sustavu vožnje,²⁷ koji mogu preuzeti upravljanje, ubrzanje i kočenje u određenom scenariju. No, iako podrška za upravljačke programe druge razine može kontrolirati ove primarne zadatke vožnje, vozač mora biti oprezan i dužan je aktivno nadzirati tehnologiju u svakom trenutku [27].

Primjer autonomne vožnje druge razine je pomoć pri vožnji na autocesti, instalirana u vozila Hyundai i Kia, te Genesis. Ova razina zahtijeva da vozač drži ruke na upravljaču, ali i da aktivno upravlja, ubrzava i koči vozilom kada putuje autocestama. Blue Cruise je nova djelomična autonomnost vožnje bez ruku, koja tehnologija je patentirana iz Forda [28].

Blue Cruise je sofisticiraniji od pomoći pri vožnji na autocesti, dopuštajući vozaču da skine ruke s upravljača na određenim odobrenim autocestama u SAD-u i Kanadi [28].

Oba ova primjera autonomnosti vožnje razine dva zahtijevaju da vozač ostane budan, angažiran i spreman preuzeti kontrolu u bilo kojem trenutku.

Teslin novi automobil *Model 3* s opcijom potpune autonomne vožnje²⁸ sustav je druge razine, te je ovo „napredni sustav pomoći vozaču koji može olakšati vozačev posao dok je na autocesti ili jasno označenim gradskim ulicama. Međutim, daleko je to od savršenog autonomnog sustava“ [28].

- Treća razina autonomnosti (engl. „*eyes off*“) – uvjetna autonomnost vožnje

Skok s druge razine autonomnosti na treću razinu je značajan, tako da nema sustava treće razine, koji bi bili legalni za korištenje na američkim cestama. Treba imati u vidu i to da je treća razina poznata kao uvjetna autonomnost vožnje. Koristi različite upravljačke programe sustava pomoći i umjetne inteligencija za donošenje odluka na temelju promjena situacije u vožnji. Ljudi u vozilu ne trebaju nadzirati tehnologiju, što znači da se mogu baviti i drugim aktivnostima [27].

²⁷ ADAS

²⁸ Full Self-Driving Capability

Međutim, ljudski vozač mora biti prisutan, spreman i sposoban preuzeti kontrolu nad vozilom u bilo kojem trenutku, posebno u hitnim slučajevima zbog kvara sustava. U ovom sustavu još uvijek nije moguće „zadrijemati“ dok osoba sjedi na vozačevom sjedalu. Audi je razvio tehnologiju za pomoć u prometnim gužvama treće razine za svoj vodeći model A8 za 2019. godinu, ali nikada nije dobio regulatorno odobrenje za sustav u Njemačkoj [28].

To je Hondi otvorilo vrata da postane prvi proizvođač automobila u svijetu koji će odobreni sustav pomoći za prometne gužve treće razine moći legalno prodavati potrošačima. Hondin automobil treće razine je ušao u prodaju kao nadogradnja vodeće limuzine *Legend* početkom 2021. godine i to u malim količinama za tržište Japana [28].

Ostala vozila opremljena autonomnosti vožnje treće razine, koja čekaju regulatorna odobrenja uključuju redizajnirani Mercedes-Benz S-klasu iz 2021. godine i potpuno novo električno vozilo Mercedes-Benz *EQS* iz 2022. godine Mercedesova tehnologija je ovdje prisutna pod nazivom Drive Pilot [28].

- Četvrta razina autonomnosti (engl. „*mind off*“) – visoka autonomnost vožnje

Autonomija razine četiri ne zahtijeva ništa od ljudske interakcije u radu vozila, jer je ono programirano da se zaustavi u slučaju kvara sustava. Također, na četvrtoj razini putnici mogu „spavati“ dok se voze u vozilu [28].

Tehnologija autonomnosti četvrte razine vozila namijenjena je za upotrebu u taxi vozilima bez vozača i uslugama javnog prijevoza. Takva vozila će biti programirana da putuju između točke A i točke B, te će biti ograničena na određene geografske točke tehnologijom geo-ograda²⁹ [28].

²⁹ Geo-fence - je značajka u softverskom programu koji koristi globalni sustav pozicioniranja (GPS) ili radiofrekvencijsku identifikaciju (RFID) za definiranje geografskih granica.

Geografsko ograđivanje omogućuje administratoru da postavi okidače tako da se izdaje upozorenje kada uređaj uđe (ili izađe) iz granica koje je definirao administrator. Mnoge aplikacije za geografsko ograđivanje uključuju Google Earth, omogućujući administratorima da definiraju granice povrh satelitskog prikaza određenog geografskog područja. Druge aplikacije definiraju granice zemljopisnom dužinom i širinom ili pomoću karata koje su izradili korisnici i koje se temelje na webu.

Geofence virtualne barijere mogu biti aktivne i pasivne. Aktivne geoograde zahtijevaju da se krajnji korisnik uključi u usluge lokacije i da je mobilna aplikacija otvorena. Pasivne geoograde su uvijek uključene; oslanjaju se na Wi-Fi i mobilne podatke umjesto na GPS ili RFID i rade u pozadini.

Određeni uvjeti mogu ograničiti ili otkazati rad autonomnog vozila razine četiri, kao što su loši vremenski uvjeti [28].

- Peta razina autonomnosti (engl. „*steering wheel optional*“) – potpuna autonomnost vožnje

Kao najviša klasifikacija autonomnosti vožnje, peta razina znači da vozilo može samo voziti posvuda u svim uvjetima bez ikakve ljudske interakcije. Peta razina autonomnih vozila nije vezano geo-ogradom niti na nju utječu vremenski uvjeti, te je ovdje riječ o prijevozu koji je ljudima udoban i učinkovit, bez potrebe za vozačem. Jedini ljudski angažman bit će postavljanje odredišta [27].

Postoje dva načina za korištenje autonomnih vozila, pri čemu je jedan kao automobili u privatnom vlasništvu, a drugi je kao zajednička mobilnost. Korištenje autonomnih vozila kao automobila u privatnom vlasništvu moglo bi stvoriti nekoliko zabrinutosti i potencijalnih problema. Autonomna vozila u privatnom vlasništvu bi mogla pokrenuti duga putovanja automobilom tamo gdje su ljudi prije koristili javni prijevoz zbog frustracije, dosade i umora od dugotrajne vožnje. Prijemljivost na ova vozila mogla bi biti zbog omogućivanja pristupa ljudima, koji su se prethodno oslanjali na javni prijevoz, hodanje i vožnju biciklom zbog nemogućnosti upravljanja osobnim vozilom. Također bi moglo doprinijeti više putovanja automobilima u središtima gradova, gdje se prije izbjegavalo zbog troškova putovanja i nedostupnosti parkinga [29].

S druge strane, autonomna vozila, koja funkcioniraju kao zajednička mobilnost mogli bi smanjiti vlasništvo nad privatnim vozilima, što bi moglo dovesti do manjeg broja automobila. Također, ova vrsta autonomnih vozila mogla bi drastično poboljšati mobilnost za ljude koji nemaju automobile. Također bi mogli osloboditi više prostora na cestama, kao i parkirnim površinama [29].

Različite zemlje i kontinenti imaju drugačije pristupe razvoju autonomnih vozila.

Razine autonomnosti prikazane su u tablici 1. U njoj su prikazane sve razine autonomnosti počevši od nulte gdje vozač potpuno samostalno upravlja vozilom, do pete razine u kojoj sustav samostalno bez ljudske intervencije upravlja vozilom.

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 [27]

3.2. Prepreke i ograničenja implementacije autonomnih vozila u postojeći prometni sustav

Za početak opsežnog razvoja autonomnih vozila postoje prepreke i ograničenja koja treba prevladati. Zemlje imaju mnoge propise koje tvrtke moraju poštovati, neke zemlje pri navedenom imaju više kapitalistički pristup razvoju, ali tu su i brojne zemlje, koje nemaju financijske mogućnosti ulagati u infrastrukturu, koja je potrebna za istraživanje i razvoj autonomnih vozila, a to su mahom zemlje u razvoju. Uz sve, neke zemlje nemaju dovoljno radne snage koja je potrebna, poput slabo naseljenih zemalja [30].

Niže se navode koja su to ograničenja:

- Izgradnja povjerenja

Umjetna inteligencija ima postavke, koje počivaju na znanosti, tehnologiji i algoritmima, čega ljudi uglavnom nisu svjesni, zbog čega joj je teško vjerovati.

Budući da se radi o novoj tehnologiji, postoji veliki nedostatak radne snage, koja bi bila posvećena analitici podataka i vještinama znanosti o podacima. Kako napredak umjetne inteligencije raste, tako tvrtkama nedostaje kvalificirani stručnjak koji može zadovoljiti zahtjevima i raditi s ovom tehnologijom. Vlasnici tvrtki moraju osposobiti svoje stručnjake da bi mogli iskoristiti prednosti ovog ulaganja u tehnologiju [31].

Umjetna inteligencija je skupa tehnologija u koju svaka tvrtka ne može uložiti kapital, a anticipira se da će biti potrebna velika računalna snaga, a ponekad i hardver, da bi došlo do pokretanja i učinkovitog modeliranja strojnog učenja. Iako je primjenjivost umjetne inteligencije u velikom porastu, nije riječ o potpuno integriranom poslovnom lancu vrijednosti na razini kojoj bi trebao biti [31].

Štoviše, poduzeća onih koji su se inkorporirali još su u početnoj fazi, što je dovelo do usporavanja podizanja tehnologije umjetne inteligencije na ekonomiju razmjera, čime su lišeni isplativosti razmjera. Nakon desetljeća nagađanja i opravdane tjeskobe o društvenim implikacijama potencijalnog intenziviranja destabilizirajuće tehnologije umjetne inteligencije za čovječanstvo i problem crne kutije, investitori umjetne inteligencije pomalo su skeptični prema stavljanju novca u potencijalne startupove [31].

- Kvar softvera

Sa strojevima i algoritmima koji kontroliraju umjetnu inteligenciju, sposobnost donošenja odluka automatski se ustupa alatima crne kutije vođenim kodom. Automatizacija otežava prepoznavanje uzroka grešaka i kvarova. Štoviše, zbog nedostatka sposobnosti ljudskih bića da nauče i razumiju kako ti alati rade, postoji malo ili nimalo kontrole nad sustavom koji je dodatno kompliciran kako automatizirani sustavi postaju sve rašireniji i složeniji [31].

Kao i svaka druga tehnologija, umjetna inteligencija također ima svoja ograničenja; te jednostavno ne može zamijeniti sve ljudske zadatke. Međutim, to će rezultirati novom domena poslova u nastajanju s profilom posla različite kvalitete [31].

- Visoka očekivanja

Istraživanja u području umjetne inteligencije provodi veliki skup tehnologa i znanstvenika s različitim ciljevima, perspektivama motivacije i interesima. Glavni fokus istraživanja ograničen je na razumijevanje temeljne osnove spoznaje i inteligencije s velikim naglaskom na razotkrivanju misterija čovjekove inteligencije i misaonog procesa. Ne razumiju svi funkcioniranje umjetne inteligencije i također mogu imati vrlo visoka očekivanja od funkcioniranja [31].

- Sigurnost podataka

Strojno učenje i sposobnost donošenja odluka umjetne inteligencije i primjene umjetne inteligencije temelje se na ogromnim količinama klasificiranih podataka, često osjetljivih i osobnih podataka. To ih čini osjetljivim na ozbiljne probleme poput povrede podataka i krađe identiteta. Uglavnom proizlaze da tvrtke, baš kao i vlade, koriste umjetnu inteligenciju za profit odnosno moć, pri čemu je riječ o korištenju alata temeljenih na umjetnoj inteligenciji, koji su općenito globalno umreženi, što ih čini teško reguliranim [31].

- Pristranost algoritma

Bit umjetne inteligencije sastoji se u podacima i algoritmima. Po pitanju točnosti sposobnosti donošenja odluka, umjetna inteligencija počiva na uvježbanosti korištenja autentičnih i nepristranih podataka.. Neetičke i nepravedne posljedice svojstvene su za donošenje odluka utemeljenih na podacima prožetim predrasudama u vezi s rasom, spolom, zajednicom, ili etnicitetom [31].

Snaga i mogućnosti umjetne inteligencije i aplikacija umjetne inteligencije izravno ovise o točnosti i relevantnosti nadziranih i označenih skupova podataka koji se koriste za obuku i učenje. Postoji nedostatak podataka s oznakom kvalitete. Iako su u tijeku naponi oko sredstva prijenosnog učenja, aktivnog učenja, dubokog učenja i učenja bez nadzora, pitanje osmišljavanja metodologije kako bi modeli umjetne inteligencije učili unatoč nedostatku podataka s oznakom kvalitete, samo će pogoršati problem [31].

3.3. Prednosti autonomnog prometnog sustava

Razvoj autonomnih vozila je revolucionarna tehnologija za cijeli prometni sektor. Većina razvoja na ovom području koncentrirana je na privatni automobil. Prednosti autonomnih vozila su višestruke, najčešće su povezane uz veću sigurnost, manje zagušenja, manje sudara, veću učinkovitost goriva i smanjenje troškova ljudskih resursa.

3.3.1. Socijalna davanja

Industrijska izvješća i marketinški napori, često citirani u popularnom tisku, prikazuju sliku o tome kako će autonomna vozila revolucionirati ljudske živote, oslobađajući vrijeme vožnje za obavljanje posla, kao i druge vrste produktivnih ili zabavnih aktivnosti dok putujemo. Autor Waymo tako u svojoj studiji govori o tome kako „Vrijeme provedeno u putovanju na posao možete potrošiti radeći što želite“ [32].

Izvješće KPMG-a počinje molbom čitateljima da zamisle scenarije u kojima se može raditi neprimjetno od ureda do kuće, pregledati e-poštu ili pročitati mnogo knjiga i gledati filmove tijekom putovanja na posao. Autori izvješća intervjuirali su desetke čelnika industrije i zaključili da autonomna vozila „nude putnicima priliku da ponovno steknu vrijeme koje je prije bilo izgubljeno za vožnju kao produktivno vrijeme“, izjavljujući da se sve ili dio ovog vremena može nadoknaditi. Čak idu toliko daleko da sugeriraju da će autonomna vozila biti prilagođeni kao mobilni uredi, kapsule za spavanje ili centri za zabavu, bez raspravljanja o tome hoće li to dopustiti zakoni i propisi ili će tržište uz takvu podršku biti upućeno na diverzifikaciju tipova vozila [32].

Morgan Stanley procjenjuje da bi potpuno usvajanje autonomnih vozila američkom gospodarstvu moglo donijeti više od 500 milijardi dolara godišnje, budući da bi ljudi sada mogli na posao u automobilu, uz pretpostavku da bi 30% ukupnog vremena putovanja mogli provesti radeći s 90% produktivnosti. Globalno, autonomna vozila bi mogla pružiti putnicima do jedne milijarde sati dnevno uštede vremena, koje bi se moglo iskoristiti za rad, opuštanje ili zabavu [33].

3.3.2. Prednosti učinkovitosti

Autonomna vozila mogu biti podložnija elektrifikaciji, jer se vozilo može poslati samo prema specifičnim potrebama korisnika. Autonomna vozila bi također smanjila ili eliminirala izazove priključne elektroničke infrastrukture vozila budući da bi bili svjesni dostupnosti i mjesta opcije punjenja. Na kraju, budući da je početni trošak trenutno prepreka za priključna električna vozila,³⁰ raspodjela tog troška na mnoge korisnike može povećati relativnu vrijednost i konkurentnost priključnih električnih vozila, kao opcije za mnoga putovanja [26].

Amerikanci troše značajnu količinu vremena i energije tijekom gradske vožnje tražeći parking. Autonomna vozila bi se mogla neprimjetno integrirati u sustav pametnog prijevoza, kao i pronaći otvoreno parkiralište ili ostaviti putnike bez potrebe parkiranja. Teksaški prometni institut izvijestio je da se potrošeno gorivo na traženje parkinga mjeri 19 galona po osobi godišnje [34].

Mobilnost na zahtjev je korištenje zajedničkih vozila kojima se pristupa na zahtjev. Putnici obično rezerviraju vozilo ili se voze putem aplikacije na pametnom telefonu kratko vrijeme, prije nego što se putovanje obavi. Mobilnost na zahtjev uklapa se u šire i rastuće područje mobilnosti i ekonomije dijeljenja, što je zajedničko korištenje vozila, biciklom ili drugim načinom prijevoza prema potrebi. Ekonomija dijeljenja je fenomen u razvoju oko iznajmljivanja i posuđivanja dobara i usluga, a ne njihovo posjedovanje. Ovo dijeljenje može se odvijati među građanima kao korisnicima³¹ ili preko poduzeća³². S daljnjim napretkom u tehnologiji i razvojem društvene paradigme u kojoj je pristup vrednovan drugačije od vlasništva, usluge mobilnosti zajedničke upotrebe mogle bi nastaviti znatno rasti u upotrebi i utjecaju u nadolazećim godinama [35].

Autonomna vozila mogu u nekim slučajevima povećati popunjenost vozila. U zajedničkoj upotrebi istih, korisniku bi moglo biti dostupno više opcija, uključujući jeftinije putovanje koje uključuje dijeljenje vozila s drugim korisnicima, slično modelu prijevoza do zračne luke tranzita, mada je vrlo neizvjesno koliko bi se korisnika odlučilo za to. Ovdje je za pretpostaviti da autonomna vozila dopuštaju viši stupanj mogućeg

³⁰ PEV

³¹ Peer-to-peer

³² business-to-consumer

utjecaja dinamičkog dijeljenja vožnje, a isto tako autonomna vozila bi mogla znatno povećati pristup i mobilnost čitavom nizu populacije, koji trenutno ne mogu ili kojima nije dopušteno korištenje konvencionalnih automobila. Tu spadaju osobe s invaliditetom, starije osobe i djeca mlađa od 16 godina [36].

Neke pogodnosti za ove skupine uključuju osobnu neovisnost, smanjenje društvene izolacije i pristup bitnim uslugama. Automatizacija bi mogla proširiti mobilnost i pristup uz smanjene troškove. Dok bi većina pogodnosti ove kategorije bila pružena korisnicima autonomnih vozila, postojala bi i šira kategorija društvene koristi u vidu smanjenja količine paratranzitnih usluga [36].

3.4. Izazovi vezani uz autonomna vozila

Usvajanje autonomnih vozila može potencijalno smanjiti ili eliminirati najveći uzrok automobilskih nesreća, a istovremeno nadmašiti ljudske pokretače u percepciji, donošenju odluka i izvršenju, međutim, autonomna vozila uvode nova sigurnosna pitanja. Kod autonomnih vozila putnici mogu smanjiti upotrebu sigurnosnog pojasa, a pješaci mogu postati manje oprezni zbog osjećaja sigurnosti [32].

Također, eliminacija ljudske greške ne podrazumijeva eliminaciju strojne greške. Kako tehnologija postaje sve složenija, tako raste i vjerojatnost tehničkih grešaka i ugrožavanje sigurnosti vozila. Fatalna nesreća Teslinog autopilota 2016. otkriva nesigurnost strojne percepcije i naglašava nesposobnost tehnologije da izbjegne nesreće u određenim scenarijima. Također se javlja zabrinutost u vezi s time kako autonomna vozila treba programirati algoritmima za pad da reagiraju tijekom neizbježnih nesreća. Zbog nedostatka krivnje, šteta uzrokovana autonomnim vozilima u nesrećama ne može se procijeniti subjektivno, što zahtijeva pravila za reguliranje odgovornosti autonomnih vozila, međutim, nejasno je kako doći do tih pravila [37].

Algoritmi se mogu programirati da daju prioritet sigurnosti osoba u autonomnim vozilima nad bilo čime, što osigurava ekonomsku održivost razvoja autonomnih vozila, ali koristeći osobni interes korisnika autonomnih vozila, kao osnovu za opravdavanje štete nanesene drugima, potkopava funkcije samog prava. Nasuprot tome, algoritmi se mogu programirati za postizanje društveno najkorisnije odluke na temelju niza

čimbenika, ali još uvijek nije jasno kako doći do tih čimbenika. Također, regulatori tek trebaju dogovoriti prihvatljivu razinu sigurnosti ili definirati legitimne metode utvrđivanja sigurnosti autonomnih vozila [39].

Performanse autonomnih vozila mogle bi se poboljšati s vremenom iskustvom vožnje u stvarnom svijetu, ali to je moguće samo ako javnost prihvati tehnologiju. Izazovi povezivanja autonomnih vozila se oslanjaju na senzore, karte visoke razlučivosti i druge instrumente iz kojih se informacije prikupljaju i optimiziraju kako bi se osiguralo siguran rad vozila. Međutim, javlja se zabrinutost oko toga tko to kontrolira informacije i kako se koriste. Više problema u vezi s privatnošću informacija ostaju nejasne u smislu točnih razloga zbog kojih se informacije prikupljaju, vrste informacija koje se prikupljaju, dostupnost informacija i dopušteno trajanje pohrane informacija.

DSRC Multi-Channel Test Tool neovisni je više kanalni prislušni uređaj koji omogućuje komunikaciju vozilo-vozilo³³ i vozilo-infrastruktura³⁴. Alat za testiranje nepristrani je resurs treće strane koji se koristi za dekodiranje standarda i zahtjeva povezanih vozila; SAE J2735, IEEE 802.11p i IEEE1609. V2V i V2I komunikacije omogućuju prijenos informacija između autonomnih vozila radi sigurnosnih razloga, ali također otkrivaju kretanje i zemljopisni položaj vozila na vanjske mreže, s kojih ljudi mogu pristupiti kako bi locirali korisnika autonomnih vozila. Ovdje su prisutni nedostaci zaštite podataka temeljenih na lokaciji na temelju pristanka korisnika, pri čemu korisnici prihvaćaju odredbe i uvjete bez da su ih u potpunosti razumjeli [38].

Drugi problem je korištenje EDR-ova za utvrđivanje točnih uzroka nesreća, pri čemu se ti podaci mogu prodati trećim stranama kao što su osiguravajuća društva i koristiti protiv vozača. EDR je memorija podataka o događajima za podatke o nesrećama iz vozila, koja između ostalog sadrži informacije o dinamici vožnje i sigurnosti putnika.

Drugi navedeni rizici za privatnost podataka su mogućnost korištenje ovih informacija za uznemiravanje korisnika autonomnih vozila putem marketinga i oglašavanja, krađom identiteta korisnika, profiliranjem korisnika i predviđanjem njihovih radnji, koncentrirajući se na informacije i moć nad velikim brojem pojedinaca. Premda je moguće da se „sakriju“ uzete informacije, to se može poništiti deanonimizacijom.

³³ V2V

³⁴ V2I

Algoritmi deanonimizacije mogu ponovno identificirati anonimizirane mikro podatke s visokim vjerojatnosti, pokazujući da anonimizacija nije dovoljna za privatnost podataka. Ovo je ozbiljan problem za podatke temeljene na lokaciji, jer su ljudski tragovi jedinstveni, omogućujući protivniku praćenje kretanja čak i uz ograničene sporedne informacije [40].

Također, pristup međusobno povezanim bežičnim mrežama omogućuje javnim i privatnim agencijama provođenje daljinskog nadzora korisnika autonomnih vozila, što može potkopati individualnu autonomiju kroz psihološku manipulaciju i zastrašivanje. Drugi problem koji se pojavljuje je uporaba videonadzora u uređajima autonomnih vozila, koji se koriste kao usluge prijevoza, poput autonomnih taksija. Kako korisnici ne posjeduju ova autonomna vozila, nije jasno smatra li se vozilo javnim prostorom gdje se nadzor može smatrati prihvatljivim [41].

4. RAZVOJ NAPREDNOG INTELIGENTNOG PROMETNOG SUSTAVA

Količina vozila i odgovarajuća potražnja za putovanjima kontinuirano raste s gospodarskim i društvenim razvojem. Česta pojava prometnih zagušenja na cestovnoj mreži ima negativan utjecaj na gospodarstvo i okoliš. Zbog ograničenih zemljišnih resursa, velikih gradova i ograničenja izgradnje prometne infrastrukture mijenjaju se sustavi upravljanja prometom na razuman i učinkovit način. Regulacija prometna jedna je od glavnih zadaća kako bi se smanjila prometna zagušenja i smanjio štetni utjecaj na okoliš [42].

Nova tržišna potražnja krajnjih korisnika i pružatelja usluga za velikom brzinom bežičnog pristupa internetu, naveli su i industriju i akademsku zajednicu da rade na razvoju i projektiranju 5G generacije bežičnih mreža. Danas se ljudi oslanjaju na mobilne uređaje i internetske usluge cijelo vrijeme, dok se voze osobnim vozilima ili javnim prijevozom. To dovodi do ogromnog povećanja prijenosa podataka s trenutno dostupnim mrežama. Povezivanje vozila značajna je komponenta za mobilne tehnologije, koje podržavaju veliko opterećenje podataka kroz razne aplikacije. Aplikacije za kontrolu prometa uključuju navigaciju, pronalaženje optimalnih ruta za inteligentna vozila, te kontrolu prometnog toka putem obrade podataka [43].

Promet raste u smislu složenosti i količine prijevoza, ali njegovi infrastrukturni resursi su ograničeni. Stoga je za optimizaciju ukupnog prijevoza, obavještajni promet putem 5G mreže pristupačno i važno rješenje. Inteligentni promet može se tumačiti u različitim aspektima, te se u ovom poglavlju razmatraju neki od njih. Učinkovita kontrola i upravljanje prometom na raskrižjima izazovno je pitanje u prometnom sustavu. Razvijeni su različiti sustavi upravljanja prometnom signalizacijom kako bi se poboljšao protok prometa u stvarnom vremenu na raskrižjima. U tradicionalnim sustavima ne uzimaju se u obzir smjer kretanja vozila, varijacije u prometu tijekom vremena, nesreće, prolazak vozila hitne pomoći i pješački prijelazi. Stoga se ne može riješiti sinkronizacija signala preko određene rute [44].

4.1. Povijesni pregled razvoja semaforiziranog raskrižja

Povijesno gledano, J.P. Knigh izumitelj je prvog mehaničkog semafora koji je postavljen ispred britanskog Parlamenta u Londonu 1868. godine radi regulacije prometa. Mehaničkim semaforom upravljao je prometni policajac koji je ručno podizao i spuštao laterne te na taj način pokazivao odgovarajuće svjetlo, odnosno regulirao promet. Prvi električni semafor izumljen je 1912. godine nalik današnjem. Tri godine kasnije William Ghiglieri predstavio je prvi semaforski uređaj sa više faza i konkretnim međufaznim izmjenama. Detektorski uređaji na temelju kojih je razvijen prvi koncept ovisnog upravljanja prometom počinje 1932. godine. U Hrvatskoj prvi semafor postavljen je u Zagrebu 1963. godine na raskrižju Šubićeve i Zvonimirove [45].

Projektiranje inteligentnog sustava upravljanja semaforima aktivna je istraživačka tema. Mnogi istraživači rade na dizajnu i razvoju inteligentnih sustava za kontrolu prometne signalizacije kako bi riješili ovaj problem. Semafori se mogu sinkronizirati kao dio metoda regionalne kontrole prometa kako bi se poboljšala učinkovitost sustava na koordiniranim raskrižjima. Istraživači su predložili nove metode i napredne sustave temeljene na umjetnoj inteligenciji, neizrazitoj logici, inteligenciji roja, evolucijskim algoritmima, obradi slike, neuronskoj mreži, fuziji podataka i linearnom programiranju itd. za rješavanje ovog problema kontrole prometnih signala u stvarnom vremenu [44].

Do sada su razvijeni brojni algoritmi za upravljanje semaforima kako bi se poboljšao tijek prometa u stvarnom vremenu na raskrižjima. Uzlazni trend odražava sve veću popularnost ove teme i naglašava važnost aktualnih istraživanja [44].

4.2. Adaptivno upravljanje prometnim svjetlima

Tradicionalni sustavi upravljanja semaforima temelje se na fiksnim vremenskim intervalima. Tradicionalni fiksni regulatori semafora imaju ograničenja i manje su učinkoviti jer koriste hardver koji funkcionira prema programu kojemu nedostaje fleksibilnost modifikacije i prilagodbe u stvarnom vremenu. Zbog tako fiksnih vremenskih intervala dolazi do prekomjernog i nepotrebnog čekanja na cestama, a samim tim vozila troše više goriva. To na kraju dovodi do zagađenja okoliša i stvara

nekoliko zdravstvenih problema među ljudima na cesti i onima koji žive u blizini. Također, ovi konvencionalni sustavi kontrole semafora nemaju nikakve odredbe za pružanje informacija o gustoći prometa na različitim cestama, što dovodi do prometnih zagušenja [46].

Stoga, kako bi se upravljanje semaforima i regulacija prometa učinila učinkovitima, koristimo adaptivno upravljanje semaforima. Predloženi sustav koristi niz senzora za otkrivanje prometnog opterećenja. Pri kategorizaciji prometa, vremenski intervali crvenog i zelenog svjetla na svakom raskrižju inteligentno se određuju i mijenjaju kako bi se vrijeme čekanja svelo na minimum. Tako se optimizacijom semafora povećava propusna moć prometne trake, štedi vrijeme za putovanje i sprječavaju prometne gužve [46].

Sustav također ima za cilj ugraditi posebne odredbe za trenutno stvaranje prolaza vozilima hitne pomoći. Sučelje GSM-a mobilnog telefona vozačima na zahtjev pruža informacije o prometu i također pomaže u učinkovitoj regulaciji prometa i donošenju odluka o alternativnim rutama. Učinkovito reguliran promet također smanjuje onečišćenje. Različiti parametri za procjenu performansi su učinkovit rad senzorskog sklopa, ušteda vremena po ciklusu, frekvencija prebacivanja signala, učinkovit rad u hitnom načinu rada i zadovoljavajući rad SMS-a pomoću GSM mobilnog telefona [46].

Glavni nedostaci tradicionalnog semaforiziranog raskrižja su:

- Prometno zagušenje na raskrižjima
- Nepotrebno vrijeme čekanja
- Nema protokola za hitna vozila
- Nema informacija o prometu za eventualno druge rute

Kod sustava adaptivnog upravljanja semaforima navedeni nedostaci su eliminirani. Adaptivni sustav ima jednostavnu arhitekturu, učinkovitu kontrolu, GSM sučelje i brzo vrijeme odziva. Glavni cilj ovog sustava je dizajnirati program i implementirati hardver za izradu sigurnih, učinkovitih i pouzdanih sustav kontrole semafora. Postoje dva načina rada adaptivnog upravljanja semaforima, to su normalni način rada i način rada u hitnim slučajevima [46].

Kod normalnog načina rada, sklop infracrvenog senzora za detekciju vozila postavlja se na semaforizirana raskrižja ugradnjom u kolničku traku. Infracrveni senzor podatke

o prisutnosti ili odsustvu vozila šalje sustavu za adaptivno upravljanje semaforima. Ti podaci sadrže duljinu vozila na svakom od privoza. Sustav zatim kategorizira promet na svakom privozu u tri kategorije a to su niska, srednja i visoka. Nakon obrade podataka sustav generira izlazne signale i odlučuje o njihovim vremenskim intervalima prema gustoći prometa koja prevladava na pojedinim privozima. Važno je napomenuti da ovaj sustav ne radi na konceptu prvenstva, tj. gdje je maksimalan promet ne znači da će biti stalno zeleno svjetlo [46].

U hitnom načinu rada sustava bilo koje hitno vozilo poput hitne pomoći, vatrogasaca ili policijskog vozila ima prioritet nad ostalim vozilima. Za jednostavan i brz prolazak vozila od hitnog značaja, signalizacija se mijenja na način da hitna vozila prolaze raskrižjima bez zaustavljanja. Vozilo šalje poruku o svom dolasku sustavu za adaptivno upravljanje semaforima zajedno s lokacijom gdje se trenutno nalazi. Sustav prima poruku te odmah aktivira hitni način rada tj. daje zeleno svjetlo za siguran prolazak, te postavlja crvena svjetla na svim ostalim privozima. Tijekom ovog hitnog načina rada zeleno svjetlo je uključeno u trajanju jednakom vremenu za uvijete visokog prometa. To daje dovoljno vremena da vozila hitne pomoći prođu sigurno kroz raskrižje i bez zagušenja prometa na toj cesti. Ovo je vrlo jedinstvena značajka ovoga sustava koji se pokazao vrlo učinkovitim u hitnim slučajevima spašavanja života i slučajevima visoke sigurnosne situacije [46].

4.3. Inteligentni sustavi informiranja putnika i vozača

Inteligentni sustavi informiranja putnika i vozača su tehnološka rješenja koja se koriste za pružanje putničkih informacija i poboljšanje iskustva putovanja. Ovi sustavi koriste različite vrste senzora, podataka o prometu, GPS podatke, društvene mreže i druge izvore informacija kako bi osigurali precizne informacije o stanju prometa, vremenu putovanja, voznom redu, udaljenosti i drugim relevantnim podacima. Putnicima se pružaju informacije o najbržoj ruti, preporučenim prometnim sredstvima, cijenama, vremenskim uvjetima i drugim relevantnim informacijama kako bi se olakšalo planiranje putovanja. Vozačima se pružaju informacije o stanju prometa, rizicima na cesti, radovima na cesti i drugim relevantnim informacijama kako bi se poboljšala sigurnost i učinkovitost vožnje. Inteligentni sustavi informiranja putnika i vozača

također se koriste za upravljanje prometom, korištenje javnih prijevoznih sredstava, upravljanje parkiralištima i druge funkcije povezane s prometom. Ovi sustavi također mogu biti integrirani s drugim pametnim gradskim rješenjima kako bi se stvorio učinkovitiji i održiviji prometni sustav [21].

4.3.1. Usluga predputnog informiranja

Inteligentni transportni sustavi mogu transportni sustav učiniti sigurnijim, lakšim i održivijim. Sustav za informiranje putnika nudi statičke i dinamičke informacije o stanju prometa. Jedna od najnaprednijih sustava navodi se ITS usluga predputnog informiranja (engl. *Pre-Trip Information*). Ova usluga se može gledati zasebno ali češći slučaj je u integraciji s drugim uslugama u svrhu boljeg pružanja informacija. Temeljna zadaća sustava predputnog informiranja je pružanje informacija o stanju prometa u realnom vremenu prije samog početka putovanja. Ova usluga mora pružiti točne i pouzdane informacije o prometu. S obzirom na informacije kojima raspolaže sustav uslijed nemogućnosti korištenja određene rute, pronalazi alternativna rješenja. Na taj način PTI usluga pruža najbolju ideju za način putovanja, rutu, vrijeme polaska, mod prijevoza i slično [21].

4.3.2. Usluga putnog informiranja vozača

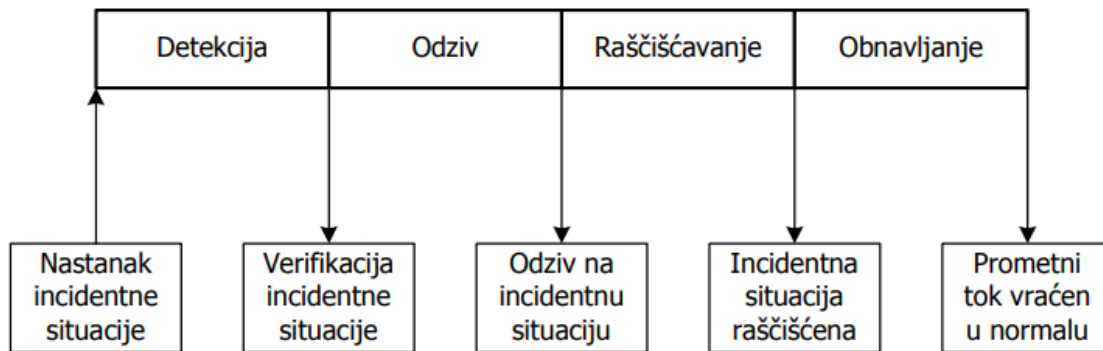
Također, jedna od bitnih usluga ITS-a je usluga putnog informiranja vozača (engl. *On-Trip Driver Information*). Putno informiranje korisniku pruža informacije za vrijeme njegova putovanja od početne do završne točke. Putne informacije vozača kroz sustav obavještavaju o potencijalnim incidentnim opasnostima i pružaju informacije o žurnim službama. Ove usluge mogu biti dostupne putem različitih kanala, kao što su web stranice, mobilne aplikacije, telefoni ili drugi uređaji koji su povezani sa internetom ili drugim mrežama. Informacije se mogu distribuirati i pomoću promjenjivih znakova uz cestu s jasnim i nedvosmislenim porukama. Putno informiranje je posebno važno kod zastoja u prometu nakon incidentnih situacija kao što su prometne nesreće, zastoji u prometu ili izvanrednog zatvaranja prometnice jer tada vozaču savjetuje alternativni pravac kretanja s podacima koje se nalaze i na tom pravcu [21].

4.4. Sustav upravljanja incidentnim situacijama

Zbog specifičnog karaktera prometnih nesreća sa najtežim posljedicama od posebnog je interesa sustav upravljanja incidentnim situacijama u prometu. Upravljanje incidentnim situacijama je koordiniran skup aktivnosti kojima se pomaže unesrećenima, uklanjaju vozila i normalizira prometni tok nakon nastanka prometne nezgode ili druge incidentne situacije kao što je npr. Kvar vozila. Brz i koordiniran odziv policije i drugih hitnih službi (prva pomoć, vatrogasci, itd.) ključni su zahtjevi pri nastanku prometnih nezgoda ili drugih incidentnih situacija na prometnicama. Sustav upravljanja incidentnim situacijama (engl. *Incident Management System*) usko je vezan s drugim podsustavima upravljanja prometom u gradu (engl. *Urban Transport and Traffic Management*), odnosno drugim podsustavima [47].

Spašavanja stradalih u prometnim nezgodama RSIM (engl. *Rescue Service Incident Management*) predstavlja jednu od traženijih implementacija ITS-a u razvijenim zemljama. Nakon nastanka nezgode iz vozila se aktivira signal (aktiviranjem zračnog jastuka ili ručno) i šalje do RSIM centra. Pozicija vozila se precizno utvrđuje preko globalnih satelitskih pozicijskih/navigacijskih sustava. Sustavi automatskog praćenja i davanja prioriteta omogućuju najbližem vozilu da najkraćom rutom dođe do mjesta nezgode. Ostali učesnici u prometu se informiraju preko drugih komunikacijskih kanala [47].

Proces IMS ima četiri sekvencijalne faze prikazane na slici 4. Detekcija je prostorno vremensko određivanje incidentne situacije, verifikacija je određivanje tipa i lokacije. Sve do pojave naprednih ITS rješenja dominantan način detekcije bile su redovite policijske ophodnje. Prometna policija u pravilu koordinira aktivnosti i komunikacije do „raščišćavanja“ situacije [47].



Slika 4. Osnovne faze sustava upravljanja incidentima [47]

Implementacija suvremenih IMS-a umanjuju negativne posljedice kao što su ćekanja, prometna zagušenja i sekundarno izazvane prometne nezgode. Brzi dolazak medicinske pomoći odlučujući je za spašavanje života teško stradalih. Geografsko informacijske tehnologije i ekspertni sustavi za donošenje odluka uključeni u ITS omogućuju toćnu detekciju, brz odziv i bolju koordinaciju razlićitih organizacija ukljućenih u IMS [47].

5. ANALIZA MOGUĆNOSTI UTJECAJA 5G MREŽE NA RAZVOJ I IMPLEMENTACIJU AUTONOMNIH VOZILA

Istraživanje mobilne mreže 5G i njen utjecaj na razvoj autonomnih vozila je područje od velikog interesa javnosti zbog sve veće prisutnosti autonomnih sustava. Razvoj mobilne mreže ima potencijal da znatno utječe na razvoj i implementaciju autonomnih vozila.

Postoje ankete koje se bave analizom utjecaja 5G mreže na autonomna vozila. Različite organizacije, udruženja, institucije i tvrtke provode ankete kako bi istražili percepciju i stavove korisnika o ovom pitanju, kao i kako bi prikupili informacije o njihovoj spremnosti za uvođenje ove tehnologije. Rezultati tih anketa mogu se koristiti za razvoj strategija i politika za podršku razvoju autonomnih vozila koji koriste 5G mreže. Primjerice, organizacija Global Mobile Suppliers Association (GSA) je provela ankete o percepciji 5G mreže i njenom utjecaju na autonomna vozila. Također, istraživanje naziva: „Impact of 5G Mobile Networks on Autonomous Vehicles“ provedeno je u svibnju 2021. godine u Sjedinjenim Američkim Državama. Anketa je obuhvatila 201 stručnjaka iz područja tehnologije, autonomnih vozila i mrežnih tehnologija. Ovaj anketni upitnik izrađen je po uzoru na takva istraživanja i ankete.

Za bolje razumijevanje utjecaja mobilnih mreža na razvoj i implementaciju autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj izrađen je anketni upitnik pod nazivom: „Utjecaj 5G mreže na razvoj i implementaciju autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj“. Istraživanjem znanja obuhvaćeno je 102 ispitanika. Ispitanici su dali podatke u upitnicima koji su imali sljedeće dvije skupine podataka:

- opći podaci o ispitanicima (spol, dobna skupina, stupanj obrazovanja, radni staž, poznavanje benefita 5G mreže, poznavanje pojma autonomnih vozila);
- pitanja o mobilnoj mreži 5G i njenom utjecaju na autonomna vozila

Pitanja u upitnicima su bila zatvorenog i otvorenog tipa. Na neka pitanja moguće je dati samo jedan odgovor, dok je na neka pitanja moguće dati više odgovora. Svi upitnici su se popunjavali on line putem Google aplikacije.

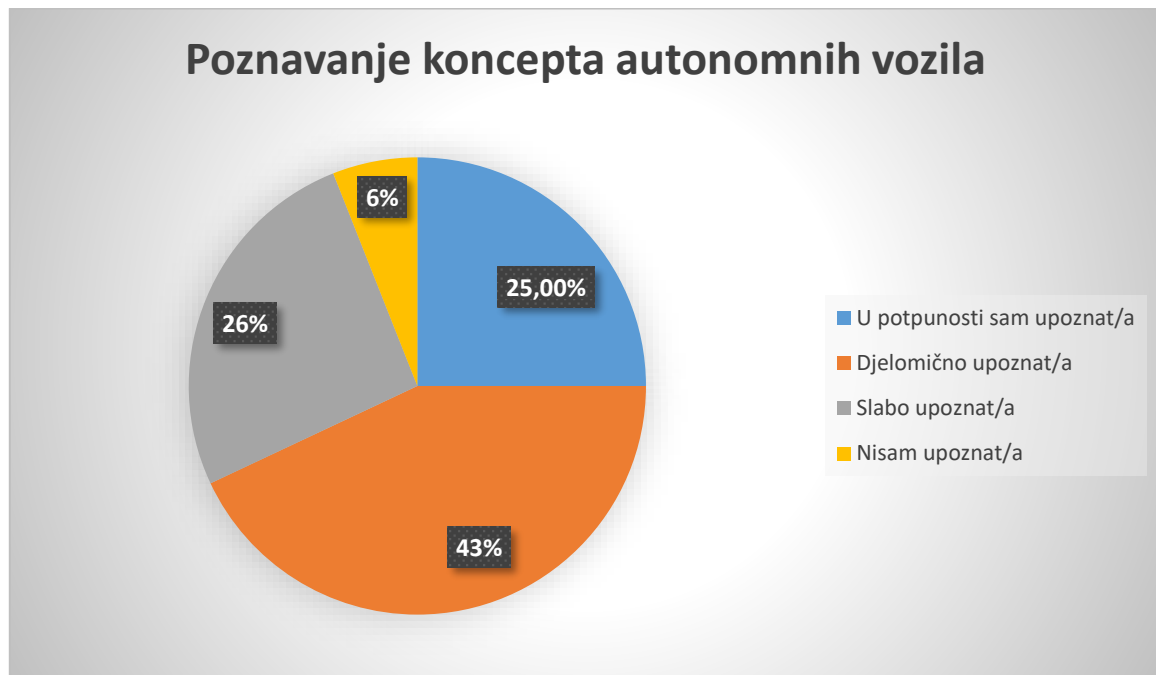
U rezultatima analize postoci su manje korišteni budući da je uzorak ispitanika vrlo blizu 100 (n = 102) pa su i postoci koji bi se izračunali vrlo slični apsolutnim frekvencijama što je vidljivo već iz prve tablice.

Uzorak ispitanika činio je 61 muškarac (60%) i 41 žena (40%). Bile su to osobe pretežno mlađe životne dobi. Stupanj obrazovanja im je pretežno visoka stručna sprema, dok je najmanje ispitanika sa srednjom stručnom spremom, pa je stoga bilo moguće doći do praktičnih saznanja o benefitima koje pruža 5G mreža i poznavanja pojma autonomnih vozila. Uzorak ispitanika nalazi se u tablici 1.

Opći podaci ispitanika		Broj	Postotak
Spol ispitanika	Ženski	41	40%
	Muški	61	60%
Dobna skupina	18-39	63	62%
	40-59	36	35%
	60-69	3	3%
	70 +	0	0%
Stupanj obrazovanja	Srednja stručna sprema	17	16%
	Viša stručna sprema	27	26%
	Visoka stručna sprema	58	58%
Radni staž	Manji (2 – 4 godine)	59	58%
	Srednji (5 – 10 godina)	29	28%
	Veći (preko 10 godina)	14	14%
Poznavanje benefita 5G mreže	Da	80	79%
	Ne	22	21%
Poznavanje pojma autonomnih vozila	Da	79	78%
	Ne	23	22%

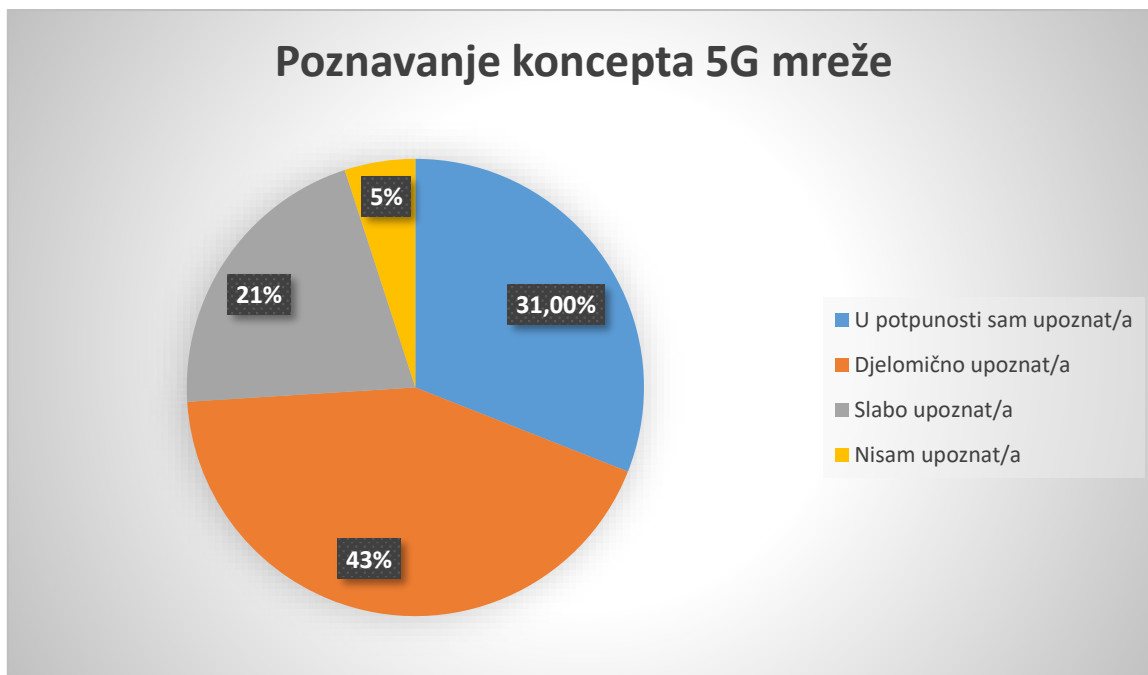
Tablica 2. Prikaz rezultata prema općim podacima

U uvodnom dijelu druge grupe pitanja predstavljeno je što su to autonomna vozila, koji je princip rada autonomnih vozila te koja je uloga mobilne mreže 5G na njihov razvoj, a sve u svrhu kako bi ispitanici imali više informacija te samim tim što točnije odgovorili na postavljena pitanja. Na osnovu predstavljenog uvodnog dijela, osobnih iskustava i saznanja, ispitanici su pokazali dobro poznavanje koncepta autonomnih vozila što je moguće vidjeti na grafikonu ispod.



Grafikon 1. Poznavanje koncepta autonomnih vozila

Poznavanje koncepta autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj je dobro. Kao što je vidljivo iz grafikona 1. čak 25% ispitanika je u potpunosti upoznat s konceptom autonomnih vozila, njih čak 43% je djelomično upoznato, a samo 6% ispitanika nije upoznato s konceptom autonomnih vozila.



Grafikon 2. Poznavanje koncepta 5G mreže

U grafikonu 2. su odgovori na pitanje u vezi poznavanja koncepta 5G mreže. Također, kao i na prošlom pitanju i na ovom pitanju su pokazali da dobro poznaju koncept 5G mreže što je vidljivo iz podataka. Nešto je veći postotak onih koji su u potpunosti upoznati sa samim konceptom 5G mreže u odnosu na koncept autonomnih vozila.

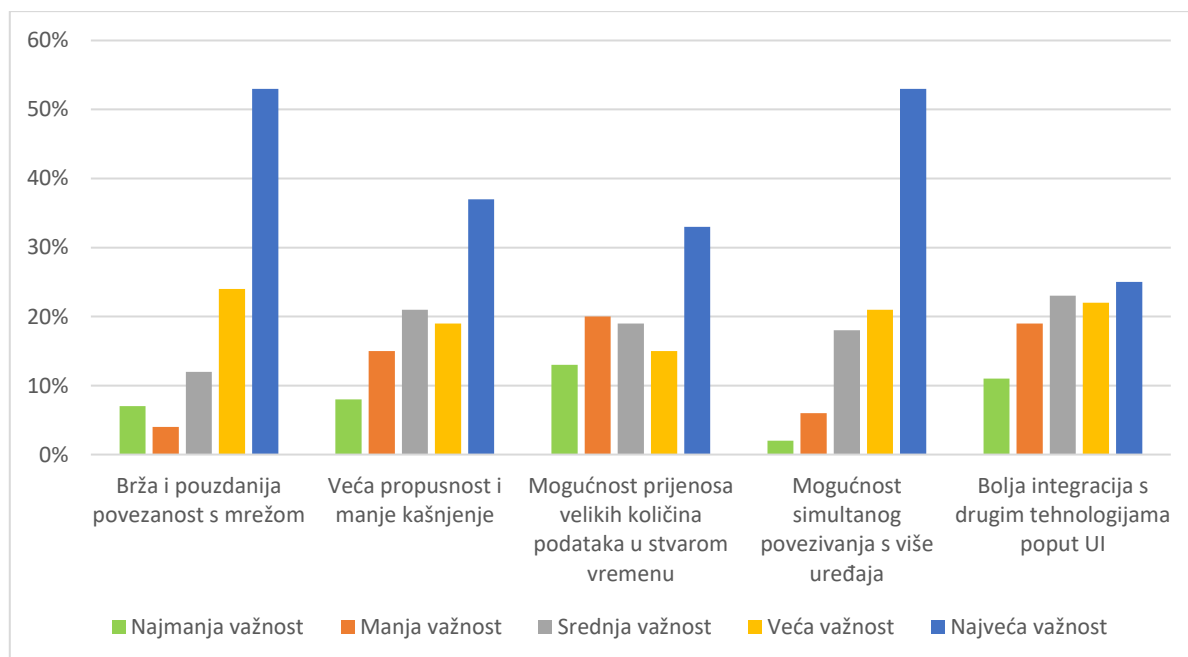
U tablici 3. nalaze se rezultati anketiranih ispitanika koji su prema važnosti koju pridaju odredili pojedine prednosti primjene podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima.

Prednosti podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima	Važnost za primjenu					Ukupno
	1	2	3	4	5	
Brža i pouzdanija povezanost s mrežom	7	4	12	25	54	102
Veća propusnost i manje kašnjenje	9	16	20	19	38	102
Mogućnost prijenosa velikih količina podataka u stvarnom vremenu	13	21	20	15	33	102

Mogućnost simultanog povezivanja s više uređaja	2	7	18	22	53	102
Bolja integracija s drugim tehnologijama poput umjetne inteligencije	11	20	23	23	25	102

Tablica 3. Prikaz rezultata pitanja o prednostima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima

Iz grafikona 3. prema podacima je vidljivo da su najveće prednosti korištenja podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima u Republici Hrvatskoj brža i pouzdanija povezanost s mrežom i mogućnost simultanog povezivanja s više uređaja, u postotcima je to 53%. Što se tiče druge dvije prednosti, veća propusnost i manje kašnjenje te mogućnost prijenosa velikih količina podataka u stvarnom vremenu, ispitanici su podjednakog stava, tj. rezultati su slični. Također, ispitanici su stava da je najmanja prednost korištenja podupirujućih telematičkih tehnologija bolja integracija s drugim tehnologijama poput umjetne inteligencije.



Grafikon 3. Prikaz rezultata pitanja o prednostima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima

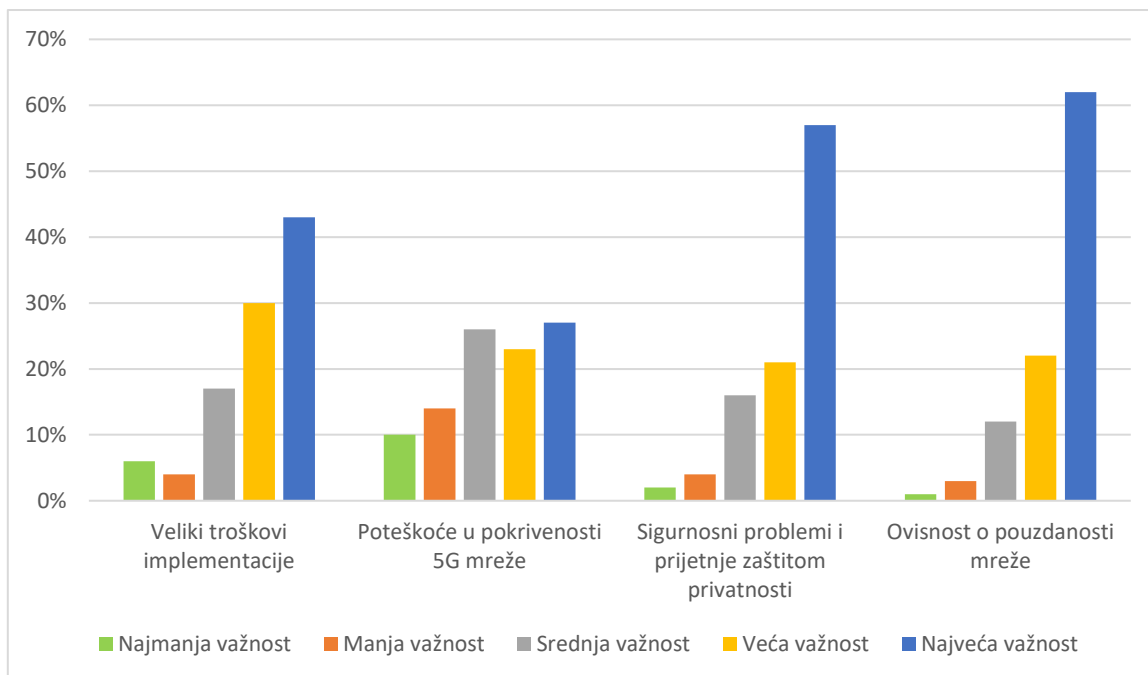
U tablici 4. nalaze se rezultati anketiranih ispitanika koji su prema važnosti koju pridaju odredili pojedine nedostatke primjenom podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima.

Potencijalni nedostaci korištenja podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima	Važnost za primjenu					Ukupno
	1	2	3	4	5	
Veliki troškovi implementacije	7	4	18	30	43	102
Poteškoće u pokrivenosti 5G mreže	10	14	27	23	28	102
Sigurnosni problemi i prijetnje zaštitom privatnosti	2	4	16	22	58	102
Ovisnost o pouzdanosti mreže	1	3	12	23	63	102

Tablica 4. Prikaz rezultata o nedostacima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima

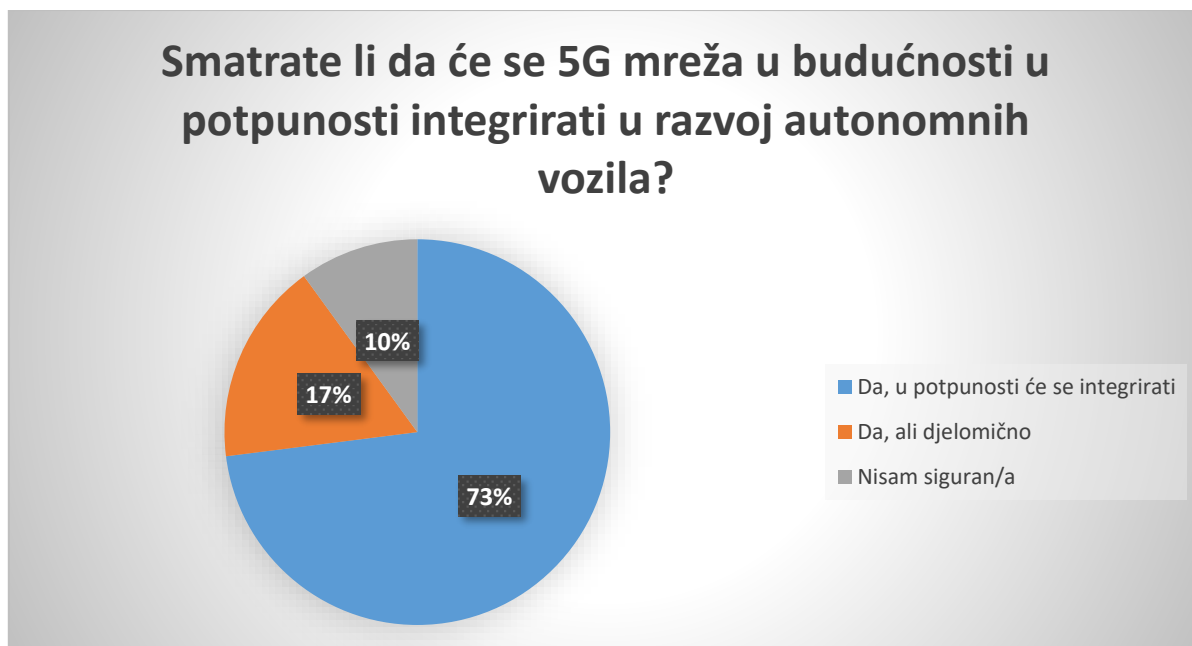
Grafikon 4. prikazuje rezultate odgovora na pitanja o nedostacima primjene podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima. Kao što je vidljivo iz tablice 4. a također iz grafikona 4. najmanji postotak 27% ispitanika zabrinuto je za poteškoće u pokrivenosti 5G mreže. Taj podatak je razumljiv jer govorimo o novijoj tehnologiji i potrebno je vrijeme i financijska mogućnost kako bi se nove tehnologije implementirale kako u svijetu tako i u hrvatskoj. Također iz podataka dobivenih anketiranjem nedostatak koji je pokazao najveću zabrinutost ispitanika je ovisnost o pouzdanosti mreže 62% ispitanika.

Ovi podaci pokazuju da je najveća zabrinutost u hrvatskoj kao i u ostalim zemljama svijeta zabrinutost za samu pouzdanost sustava. Upravo je to jedan od najveći nedostatak 5G mreže na utjecaj autonomnih vozila, uz naravno sigurnosne probleme i prijetnje zaštitom privatnosti.



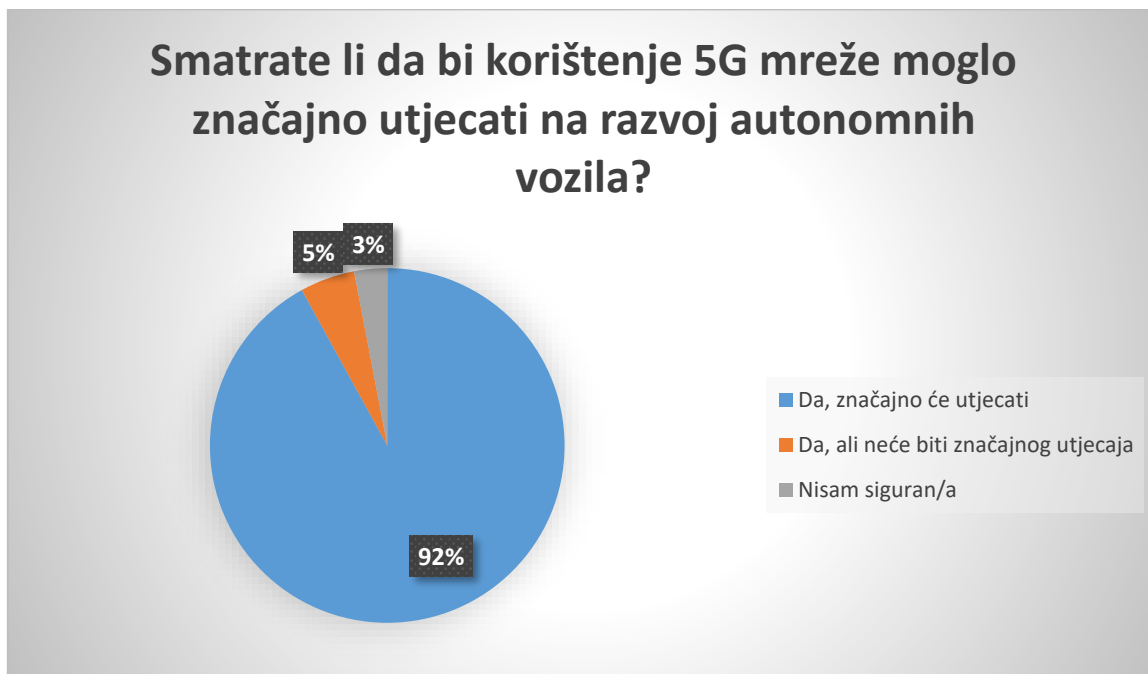
Grafikon 4. Prikaz rezultata o nedostacima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima

Nakon prikazanih rezultata prednosti i nedostataka podupirujućih telematičkih tehnologija ispitanicima je postavljeno pitanje smatraju li da će se 5G mreža u budućnosti u potpunosti integrirati u razvoj autonomnih vozila. Rezultati su prikazani u grafikonu 5.

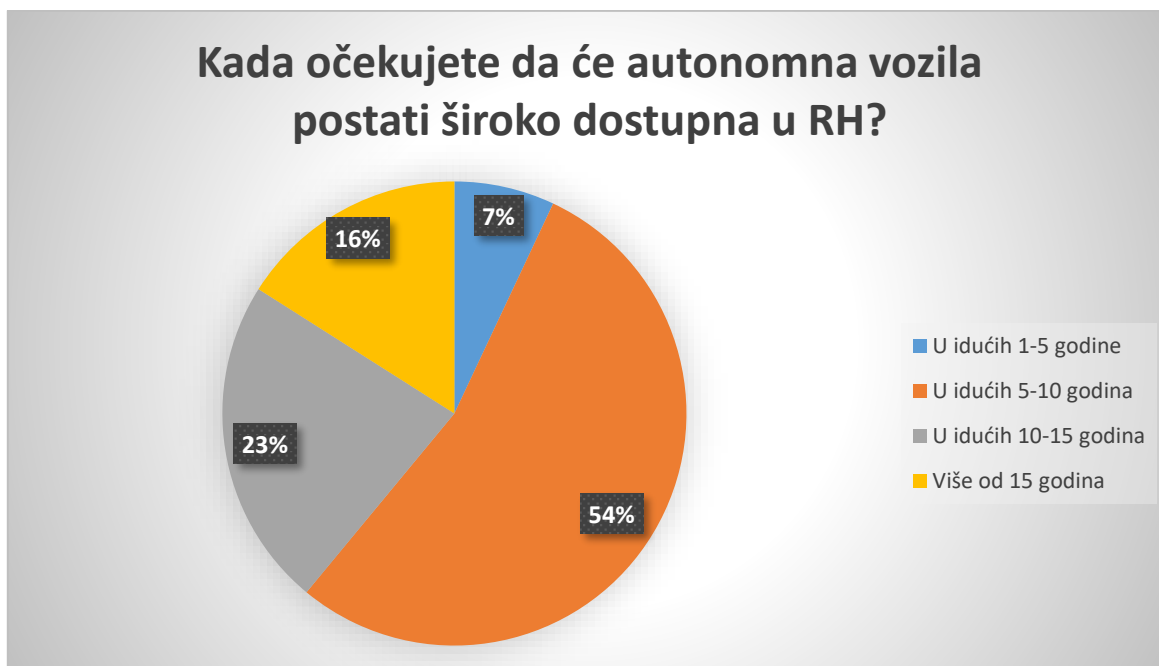


Grafikon 5. Smatrate li da će se 5G mreža u budućnosti u potpunosti integrirati u razvoj autonomnih vozila?

Ispitanicima je također postavljeno pitanje da li smatraju da bi korištenje 5G mreže u autonomnim vozilima moglo značajno utjecati na razvoj autonomnih vozila. U grafikonu 6. su prikazani rezultati ispitanika.



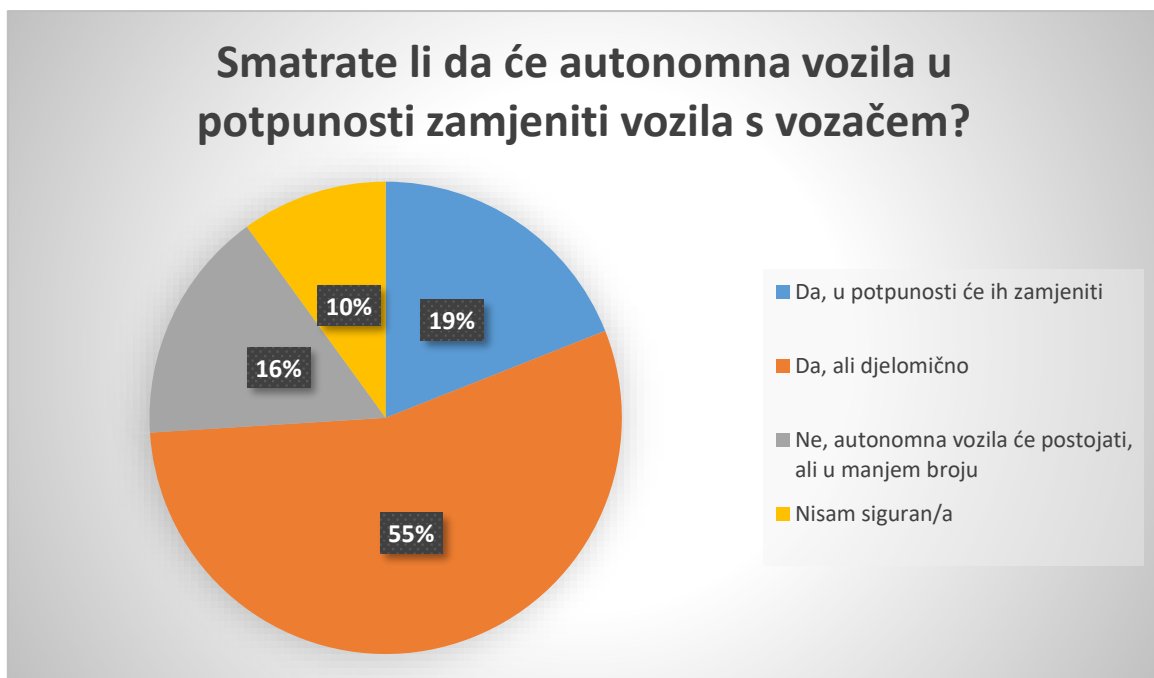
Grafikon 6. Smatrate li da bi korištenje 5G mreže moglo značajno utjecati na razvoj autonomnih vozila



Grafikon 7. Kada očekujete da će autonomna vozila postati široka dostupna u RH

U Grafikonu 7. su rezultati ispitanika koji su odgovorili na pitanje kada očekuju da će autonomna vozila postati široko dostupna u Republici Hrvatskoj. Kao što vidimo iz rezultata 16% ispitanika očekuje da je potrebno više od 15 godina da bi autonomna vozila bila široko dostupna u RH. Samo 7% ispitanika smatra da bi u idućih 5 godini autonomna vozila bila široko dostupna u RH.

Na pitanje: „Smatrate li da će autonomna vozila u potpunosti zamijeniti vozila s vozačem?“ više od polovice ispitanika misli da djelomično hoće, ali neće ih potpuno zamijeniti. Nadalje, oko 16% ispitanika odgovorilo je da će autonomna vozila postojati ali u manjem broju, dok je 19% onih koji smatraju da će u potpunosti zamijeniti vozila s vozačem. Ovi postotci govore o podijeljenosti ispitanika o autonomnim vozilima i njihovoj budućoj primjeni. Postotak odgovora prikazan je grafikonom 8.



Grafikon 8. Smatrate li da će autonomna vozila u potpunosti zamijeniti vozila s vozačem

6. ANALIZA REZULTATA

S obzirom na opće podatke, 80% ispitanika je pozitivno ocijenilo poznavanja koncepta autonomnih vozila kao i 79% onih koji poznaju koncept 5G mreže. Ovi podaci su očekivani s obzirom na populaciju ispitanika koju 58% čine ispitanici visoke stručne spreme, kao i dobna skupina ispitanika od kojih je 63% mlađe životne dobi. Osim dosadašnjih saznanja ispitanici su također imali uvodno objašnjenje što su to autonomna vozila te koja je uloga mobilne mreže 5G na njihov razvoj.

Što se tiče prednosti korištenja podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima ispitanici ističu da su dvije prednosti ispred ostalih. Od ukupnog broja ispitanika, 53% ih se slaže da je najveća prednost korištenja podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima u Republici Hrvatskoj brža i pouzdanija povezanost s mrežom te mogućnost simultanog povezivanja s više uređaja. Po mišljenjima ispitanika treće mjesto zauzela je veća propusnost i manje kašnjenje, tek 37% ispitanika smatra da je to najveća prednost podupirujućih telematičkih tehnologija. Činjenica je da je najveća prednost tehnologije 5G upravo veća propusnost i manje vrijeme kašnjenja. Nadalje, 23% ispitanika je stava da je najmanja prednost korištenja podupirujućih telematičkih tehnologija bolja integracija s drugim tehnologijama poput umjetne inteligencije.

Kada govorimo o nedostacima primjene podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima ispitanici su najveću zabrinutost 62% izrazili u vezi pouzdanosti mreže. S obzirom da je pouzdanost mreže, mjera stabilnosti i kvalitete usluge koju pruža podupirujuća telematička tehnologija, tj. sposobnost mreže da održi kvalitetnu vezu bez obzira na broj korisnika, vrijeme ili uvjete korištenja, ovaj podatak ne iznenađuje. Drugi najveći nedostatak prema ispitanicima je sigurnosni problemi i problemi s privatnosti podataka u postotcima 57%. Kada govorimo o autonomnim vozilima, sigurnost i privatnost podataka ključni su aspekti koji se moraju uzeti u obzir. Autonomna vozila skupljaju velike količine podataka o svojoj okolini kako bi mogli funkcionirati, što uključuje i podatke o drugim vozilima i drugim sudionicima u prometu. To dovodi do potencijalne opasnosti napada hakera koji ako se uspiju infiltrirati u mrežu, mogu doći do osjetljivih podataka o autonomnim vozilima. Također, 5G mreža

omogućuje prijenos velikih količina podataka, što može predstavljati probleme s privatnošću podataka. U svijetu gdje sve više uređaja koristi 5G mrežu, postoji mogućnost da se podaci o autonomnim vozilima zloupotrebljavaju na načine koji bi mogli ugroziti sigurnost vozača i drugih sudionika u prometu. Ovi nedostaci se moraju uzeti u obzir kako bi se osigurao siguran i pouzdan razvoj autonomnih vozila u budućnosti.

Veći broj ispitanika 73% mišljenja je da će se 5G mreža u budućnosti u potpunosti integrirati u razvoj autonomnih vozila. Manji postotak ispitanika 17% smatra da će 5G mreža samo djelomično biti integrirana u autonomna vozila, dok 10% ispitanika nije sigurno. Ovaj rezultat ukazuje na to da većina ispitanika prepoznaje važnost 5G mreže na sam razvoj autonomnih vozila. Mreža 5G nudi velike brzina prijenosa podataka, nisku latenciju i veliku propusnost, što će biti ključno za implementaciju naprednih tehnologija poput umjetne inteligencije, strojnog učenja i računalnog vida koji će se koristiti u autonomnim vozilima.

Na pitanje da li smatraju da bi korištenje 5G mreže u autonomnim vozilima moglo značajno utjecati na razvoj autonomnih vozila, 92% ispitanika je stava da će korištenje 5G mreže u potpunosti utjecati na razvoj autonomnih sustava. Nadalje, 5% njih smatra da će utjecati ali ipak neće imati prevelik utjecaja na razvoj. Samo 3% ispitanika smatra da nije sigurno. Stoga se može očekivati da će 5G mreža biti ključan faktor u razvoju autonomnih vozila, omogućujući im da se brzo i učinkovito povezuju s drugim vozilima, infrastrukturom i drugim sustavima u okruženju, što će omogućiti bolju sigurnost, učinkovitost i udobnost putnika.

Prema analizi ankete o utjecaju 5G mreže na razvoj autonomnih vozila, većina ispitanika 54% očekuje da će autonomna vozila biti široko dostupna u Hrvatskoj u roku od 5 do 10 godina. Manji postotak ispitanika 23% smatra da će to biti dostupno u roku od 10 do 15 godina, dok 16% ispitanika smatra da će biti dostupno u roku od 15-20 godina. Samo mali postotak 7% smatra da će autonomna vozila biti dostupna u roku manjem od 5 godina. To ukazuje na to da, iako se tehnološka i automobilska poduzeća intenzivno bave razvojem autonomnih vozila, većina ljudi smatra da će za široku upotrebu autonomnih vozila u RH trebati proći još nekoliko godina.

Većina ispitanika 55% smatra da će autonomna vozila u budućnosti djelomično zamijeniti vozila s vozačem, ali neće ih potpuno zamijeniti. Manji postotak ispitanika 19% smatra da će autonomna vozila u potpunosti zamijeniti vozila s vozačem, dok 10% ispitanika nije sigurno. Važno je napomenuti da ovo pitanje ima mnoge aspekte, uključujući ekonomsku, pravnu i društvenu perspektivu, te da će konačna odluka o tome hoće li autonomna vozila u potpunosti zamijeniti vozila s vozačem ovisiti o različitim čimbenicima koji će se razvijati tijekom vremena.

Na temelju provedene ankete o utjecaju 5G mreže na razvoj autonomnih vozila u Republici Hrvatskoj, može se zaključiti da većina ispitanika poznaje pojam autonomnih vozila i poznaje benefite koje pruža 5G mreža.

Također većina ispitanika pokazuje veliku svijest o potencijalnim prednostima koje 5G mreža može pružiti razvoju autonomnih vozila. Većina ispitanika smatra je najveća prednost 5G mreže brzina prijenosa i komunikacija između vozila i okoline, što će omogućiti sigurniji i učinkovitiji promet. Također, većina ispitanika smatra da je mogućnost prijenosa velikih količina podataka u stvarnom vremenu i manje vrijeme kašnjenje od velikog značaja za autonomna vozila.

Unatoč brojnim prednostima koje pruža 5G mreža na razvoj autonomnih vozila, kod ispitanika postoje i određene zabrinutosti u vezi pouzdanosti mreže, sigurnosnih problema i problema zaštite podataka. Prema ispitanicima jedan od nedostataka je i veliki trošak implementacije sustava. Izgradnja 5G mreže zahtjeva velika ulaganja, što bi moglo utjecati na cijenu autonomnih vozila i njihovu dostupnost na tržištu.

Većina se ispitanika izrazilo da će 5G mreža znatno utjecati na razvoj autonomnih vozila, ali ne smatraju, tako skoro, širu dostupnost istih u Republici Hrvatskoj. Više od polovice ispitanika je izjavilo da će autonomna vozila djelomično zamijeniti vozila s vozačem. Ovaj rezultat sugerira da većina ljudi smatra da će autonomna vozila biti jedan od načina prijevoza u budućnosti, ali da će i dalje biti potrebe za tradicionalnim vozilima s vozačem u određenim situacijama.

7. ZAKLJUČAK

Tehnologija 5G temelj je brojnih do sada razvijenih slučajeva upotrebe u različitim kontekstima, od prometa, proizvodnje do zdravstvene skrbi, koji koriste karakteristike vrlo niske latencije i visoke propusnosti nove frekvencije mreže. Mreža 5G pomaže prikupiti značajnu količinu podataka kako o vozilima tako i o infrastrukturi. Ove informacije mogu poslužiti u razne svrhe, kao što je održavanje cestovne mreže, pružanje usluga na cestama i kontrolu autonomnih vozila, pri čemu je krajnji cilj smanjiti broj prometnih nesreća.

Koristeći 5G mrežu, moguće je prikupiti ogromnu količinu podatke preko senzora, video i radarskih podataka, a isto tako je moguće automatski prenositi informacije u stvarnom vremenu bez pomoći vozača. Nadalje, prilikom obrade ovih podataka putem inteligentnih transportnih sustava, moguće je slati upozorenja sudionicima u prometu, održavanju i trećim stranama.

Iako podupiruća telematička tehnologija pomaže vozačima, njezin utjecaj na autonomna vozila može biti revolucionarniji, obzirom da je moguće koristiti podatke u stvarnom vremenu da bi se bolje kontroliralo autonomno vozilo i promijenilo njihovo ponašanje prema opažanjima.

Precizne informacije važne su u izazovnim uvjetima i proširuju potencijalne upotrebe autonomnih vozila. Trenutno ljudi koriste autonomna vozila uglavnom u područjima s dobrim vremenskim uvjetima. Upravljanje autonomnim vozilima u izazovnim vremenskim uvjetima, zahtijeva točne podatke u stvarnom vremenu. Tehnologija 5G omogućuje prikupljanje podataka iz područja izvan senzora vozila.

Prema studiji, više od 10% prometnih kašnjenja u cijelom svijetu uzrokovano je kašnjenjem fiksne prometne signalizacije. Stoga su potrebne precizne procjene kašnjenja ovisnih o vremenu na križanjima na gradskim cestama za kontrolu i upravljanje prometom.

Inteligentni transportni sustavi rješavaju složeno pitanje učinkovite kontrole i upravljanja prometom na raskrižjima. Treba postojati ravnoteža između sigurne i učinkovite kontrole prometa na raskrižjima kako bi se omogućilo kretanje maksimalnog broja vozila uz održavanje sigurnosti.

Danas se prometna signalizacija koristi za regulaciju prometa na ključnim raskrižjima raspodjelom istog vremena zelenog svjetla na svim rutama. Komplicirana arhitektura prometnih sustava ne koordinira vrijeme prometne signalizacije s prosječnim dnevnim prometom na cestama, što dovodi do zagušenja na raskrižjima. Prometna neuravnoteženost općenito se vidi tijekom vršnih sati (ujutro i navečer).

U ovom radu predstavljena je analiza primjene 5G u autonomnim vozilima. Ova analiza imala je za cilj pružiti tehnološke uvide koji su ključni za održivu budućnost inteligentnih transportnih sustava i tržišta rješenja koja će ih podržavati. Bez sumnje, mreže poput 5G imat će središnju ulogu u poboljšanju budućih održivih prometnih mreža.

U ovom radu izrađen je anketni upitnik koji analizira utjecaj 5G mreže na razvoj autonomnih vozila, a kojim su dobivene vrijedne spoznaje. Može se zaključiti da postoji velika svijest ispitanika o potencijalnim koristima koje 5G mreža može pružiti razvoju autonomnih vozila, ali postoje i određene zabrinutosti što se tiče pouzdanosti, sigurnosti tehnologije i zaštite privatnosti. Iz analize ankete se dalo zaključiti da postoji veliki potencijal za primjenu 5G mreže u razvoju autonomnih vozila, no istovremeno je potrebno nastaviti s istraživanjem kako bi se utvrdile sve prednosti i moguće posljedice koje ta tehnologija može donijeti.

Jedna od mogućnosti daljnjeg istraživanja je razvoj i primjena novih tehnologija poput umjetne inteligencije i strojnog učenja kako bi se unaprijedila sposobnost autonomnih vozila da interpretiraju podatke koji se prikupljaju putem 5G mreže. Također, potrebno je provesti dodatna istraživanja kako bi se utvrdilo kako će 5G mreža utjecati na sigurnost i privatnost podataka koji se prikupljaju i prenose u autonomnim vozilima.

U konačnici, istraživanje utjecaja 5G mreže na autonomna vozila može pomoći u postizanju potpuno autonomnog upravljanja vozilima te otvoriti nove mogućnosti za primjenu autonomnih vozila u svim aspektima ljudskog života.

Popis literature

[1] Al-Falahy N., Alani O. Y.: Technologies for 5G Networks, Challenges and Opportunities, in IT Professional, 2017.

[2] Khan, Afaq & Qadeer, Mohammed & Ansari, Juned & Waheed, Sariya: 4G as a Next Generation Wireless Network. Future Computer and Communication, International Conference, 2009.

[3] Sylla, T., Mendiboure, L., Maaloul, S., Aniss, H., Chalouf, M.A., Delbruel, S.: Multi-Connectivity for 5G Networks and Beyond, 2022.

[4] Shafi M., Andreas F., Petar J S., Thomas H., Peiying Z., Prasan De S., Fedrik T., Anass B., Gerhard W.: 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment and Practice, 2017.

[5] Zhinqun G., Jiawei Z., Yuefeng J., Lin B., Xiang S.: Network Topology Reconfiguration for FSO-Based Fronthaul / Backhaul in 5G + Wireless Networks, 2018.

[6] Gohar, A., Gainfranco N.: The Role of 5G Tehnologies in a Smart City: The Case for Intelligent Transportation System, 2021.

[7] Jitender S., Department of Computer Science & Engineering, Ganga Institute of Technology and Management,: Generations of Wireless Technology, 2015.

[8] Mohammed B., Ibraheem S., Jafri D., Marwan H. A., Abdulaziz A., Yousef I. D., Abduraqeb A.: 6G Mobile Communication Tehnology: Requirements, Targets, Applications, Challenges, Advantages, and Opportunities, 2022.

[9] Dr. Chan N.: 5G – Fifth Generation of Mobile Networks, 2019.

<https://www.linkedin.com/pulse/5g-fifth-generation-mobile-networks-chan-naseeb>

[10] Kelly H.: 5G networks were activated at a rate of almost two cities per day during 2021, according to Viavi solutions, 2022.
<https://www.rcrwireless.com/20220503/5g/5g-by-the-numbers-72-countries-nearly-2000-cities-24-standalone-networks>

[11] Dangi R., Lalwani P., Choudhary G., You I., Pau G.: Study and Investigation on 5G Technology: A Systematic Review. Sensors, 2021.

[12] G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke and A. M. Abu-Mahfouz: A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges, 2018.

[13] Attar H., Issa H., Ababneh J., Abbasi M., Solyman A.A.A., Khosravi M., Said Agieb R.: 5G System Overview for Ongoing Smart Applications: Structure, Requirements, and Specifications, 2022.

[14] Nam T.L., Mohammed A.H., Amirual I., Kim D., Choi Y., Yeong M. J.: Survey of Promising Technologies for 5G Networks, 2016.

[15] Yoshihisa K., Satoshi N., Takehiro N.: Standardization Status towards the Introduction of 5G in 2020, 2017.

[16] Aazhang B., Ahokangas P., Alves H., Alouini M., Beek J.B., Howard B., Belfiore J., Strinati E., Chen F., Chang K., Clazzer F., Dizit S., Kwon D., Giordiani M., Haselmayr W., Haapola J., Hardouin E., Harjula E., Zhu P.: Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence, 2019.

[17] Salameh A., Tarhuni M.: From 5G to 6G - Challenges, Technologies, and Applications, 2022.

[18] Haneet K., Rakesh K. J., Sanjeev J.: A comprehensive survey on spectrum sharing: Architecture, energy efficiency and security issues, Journal of Network and Computer Applications, 2018.

[19] Parisa R.: Towards 6G-Enabled Internet of Things with IRS-Empowered Backscatter-Assisted WPCN: Faculty of Engineering and Information Technologies the University of Sydney, 2021.

[20] Zhihan L., Wenlong S.: Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review, Green Technologies and Sustainability, 2023.

[21] Bošnjak, I., INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI - ITS 1, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2006.

[22] Tan L.: Speech Emotion Recognition Enhanced Traffic Efficiency Solution for Autonomous Vehicles in a 5G-Enabled Space–Air–Ground Integrated Intelligent Transportation System, 2022.

[23] Vale Saraiva T., Campos C. A. V., Fontes R. D. R., Rothenberg C. E., Sorour S., Valaee S.: An Application-Driven Framework for Intelligent Transportation Systems Using 5G Network Slicing, 2021.

[24] Kočić J., Jovičić N., Drndarević V.: Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles, 2018.

[25] Center for Sustainable Systems, University of Michigan: Autonomous vehicles factsheet <https://css.umich.edu/publications/factsheets/mobility/autonomous-vehicles-factsheet>

[26] Bagloee S.A., Tavana M., Asadi M.: Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies, 2016.

[27] Rajasekhar M.V., Kumar Jaswal A.: Autonomous Vehicles: The Future of Automobiles, 2015.

[28] Jessica Shea C., Cristian Wardlaw: Levels of Autonomous Driving, Explained, 2021. <https://www.idpower.com/cars/shopping-guides/levels-of-autonomous-driving-explained>

[29] Ilja N., Bernd H., Mauricio M., Alfred Benedikt B., Lutz M. K.: What drives the acceptance of autonomous driving? An investigation of acceptance factors from an end-user's perspective, 2020.

[30] Parekh D., Poddar N., Rajpurkar A., Chahal M., Kumar N., Joshi GP., Cho W. A.: Review on Autonomous Vehicles: Progress, Methods and Challenges, 2022.

[31] Yogesh K., Dwivedi L., Hughes A. M., Baabdullah, S. R., Mihalis G.M.: Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, 2022.

[32] Richard M., John D. N.: On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems, 2019.

[33] Morgan S., Revi S., Adam J., Scott D., Katy H., Simon F., William G., Benjamin S., Gregory L., Adam W., Keith W., Joseph M., Andrew S., Peresh J., Yejay Y., Shinji K., Ryosuke H., Andrew H.: Autonomous Car: Self-Driving the New Auto Industry Paradigm, 2013.

- [34] David S., Bill E., Tim L., Jim B.: Urban Mobility Scorecard, 2015. <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/umr/archive/mobility-scorecard-2015-wappx.pdf>
- [35] Mc Kinsey & Company: Shared mobility: Sustainable cities, shared destinies, 2023.
- [36] Othman K.: Exploring the implications of autonomous vehicles, 2022. <https://rdcu.be/dantC>
- [37] Nyholm S.: The ethics of crashes with self-driving cars: A roadmap, II, 2018.
- [38] Wang J., Shao Y., Ge Y., Yu R.: A Survey of Vehicle to Everything (V2X) Testing, 2019 <https://doi.org/10.3390/s19020334>
- [39] Prakken H.: On the problem of making autonomous vehicles conform to traffic law, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10506-017-9210-0>
- [40] Hansson S.O., Belin M., Lundgren B.: Self-Driving Vehicles-an Ethical Overview, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13347-021-00464-5>
- [41] Hasanujjaman M., Chowdhury M.Z., Jang Y.M.: Sensor Fusion in Autonomous Vehicle with Traffic Surveillance Camera System: Detection, Localization, and AI Networking, 2023 <https://doi.org/10.3390/s23063335>
- [42] Yizhe W., Xiaoguang Y., Hailun L., Yangdong L.: A Review of the Self-Adaptive Traffic Signal Control System Based on Future Traffic Environment, 2018.

[43] Attaran M.: The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitalization, 2021.

[49] Asaad T.A., Noor M.K., Hamad Mohamed A.A., Melese A.: Simulation of Vehicular Network Use in Emergency Situations and Security Applications on a Pakistan Highway, 2022.

[44] Tomar I., Sreedevi I., Pandey N.: Traffic Signal Control Methods: Current Status, Challenges, and Emerging Trends, 2022.

[45] Miroslav Vujić: Predavanja iz kolegija cestovna telematika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb. 2013.

[46] Shinde S. M.: "Adaptive traffic light control system," *1st International Conference on Intelligent Systems and Information Management (ICISIM)*, 2017.

[47] Sadko Mandžuka: Inteligentni transportni sustavi 2, Zagreb: Zavod za ITS, 2010.

Popis ilustracija

Slika 1. Evolucija bežične tehnologije [9].....	4
Slika 2. 6G mreža omogućena za bežični prijenos energije [19]	15
Slika 3. Prikaz tehnologija autonomnih vozila [25]	20
Slika 4. Osnovne faze sustava upravljanja incidentima [47].....	39

Popis tablica

Tablica 1. Razine autonomnosti [27]	25
Tablica 2. Prikaz rezultata prema općim podacima	41
Tablica 3. Prikaz rezultata pitanja o prednostima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima	44
Tablica 4. Prikaz rezultata o nedostacima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima	45

Popis grafikona

Grafikon 1. Poznavanje koncepta autonomnih vozila	42
Grafikon 2. Poznavanje koncepta 5G mreže.....	43
Grafikon 3. Prikaz rezultata pitanja o prednostima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima	44
Grafikon 4. Prikaz rezultata o nedostacima podupirujućih telematičkih tehnologija u autonomnim vozilima	46
Grafikon 5. Smatrate li da će se 5G mreža u budućnosti u potpunosti integrirati u razvoj autonomnih vozila?.....	46
Grafikon 6. Smatrate li da bi korištenje 5G mreže moglo značajno utjecati na razvoj autonomnih vozila.....	47
Grafikon 7. Kada očekujete da će autonomna vozila postati široka dostupna u RH	47
Grafikon 8. Smatrate li da će autonomna vozila u potpunosti zamijeniti vozila s vozačem	48

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ DIPLOMSKI RAD
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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 ANALIZA UTJECAJA PODUPIRUJUĆIH TELEMATIČKIH TEHNOLOGIJA NA RAZVOJ UMRÉŽENIH AUTONOMNIH VOZILA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student:

U Zagrebu, 19. lipnja 2023.

Vidović Ivan
(ime i prezime, potpis)