

Kooperativni inteligentni transportni sustavi

Branda, Kevin Alexander

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:107107>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Kevin Alexander Branda

KOOPERATIVNI INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

ZAVRŠNI RAD

KOOPERATIVNI INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI

COOPERATIVE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Mentor: dr. sc. Pero Škorput

Student: Kevin Alexander Branda

JMBAG: 0135262919

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 27. svibnja 2024.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7627

Pristupnik: **Kevin Alexander Branda (0135262919)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Kooperativni inteligentni transportni sustavi**

Opis zadatka:

Kooperativni inteligentni transportni sustavi (C-ITS) predstavljaju važnu sastavnicu u razvoju učinkovitijih, sigurnijih i održivijih prometnih sustava. C-ITS tehnologije omogućuju komunikaciju između vozila, prometne infrastrukture i prometnog okruženja, otvarajući put prema značajnim promjenama u načinu na koji koristimo i upravljamo prometom. Ovaj završni rad bavi se analizom koncepta primjene C-ITS tehnologija i sustava, njihovim razvojem i implementacijom te utjecajem na društvo i okoliš. Rad će istražiti potrebu za C-ITS tehnologijama, njihov razvoj i implementaciju, te će procijeniti utjecaj ovih tehnologija na sigurnost, učinkovitost i održivost prometnih sustava. Također, rad će se baviti izazovima u implementaciji C-ITS tehnologija te razmatranjem budućih perspektiva ovih tehnologija. Cilj je pružiti širi pregled trenutnih dostignuća u području C-ITS tehnologija, identificirati ključne izazove u njihovoj primjeni te predložiti moguća rješenja i smjernice za budući razvoj. Rad će se usmjeriti na analizu kako C-ITS tehnologije mogu unaprijediti prometne sustave i doprinijeti održivom razvoju.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Pero Škorput

Zagreb, rujan 2024.

KOOPERATIVNI INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI

Sažetak:

Ovaj rad proučava kooperativne inteligentne transportne sustave (C-ITS) i njihovu važnost u modernizaciji prometnih sustava. Suočeni s izazovima ubrzane urbanizacije i promjena u obrascima mobilnosti, tradicionalni prometni sustavi zahtijevaju nova rješenja. C-ITS tehnologije omogućuju poboljšano upravljanje prometom putem komunikacije između vozila, infrastrukture i drugih sudionika u prometu. Rad obuhvaća pregled potreba za ovim tehnologijama zbog rasta broja vozila i urbanizacije te naglašava važnost modernizacije infrastrukture i digitalizacije podataka.

Razmatra se povijest razvoja C-ITS-a, uključujući projekte kao što su PROMETHEUS i Smart Highway, te današnje inicijative za standardizaciju. Ključne tehnologije poput komunikacija vozilo-vozilo (V2V), vozilo-infrastruktura (V2I) i vozilo-sa-svime (V2X) predstavljene su kao temelj modernih prometnih sustava.

Posebna pažnja posvećena je utjecaju C-ITS-a na sigurnost, učinkovitost i održivost prometa, s naglaskom na smanjenje nesreća, optimizaciju tokova prometa i smanjenje emisija. Također se analiziraju tehnički, financijski i pravni izazovi u implementaciji C-ITS-a, uz potrebu za međunarodnom suradnjom.

Zaključni dio rada usmjeren je na budućnost C-ITS tehnologija, s naglaskom na integraciju s autonomnim vozilima, pametnim gradovima, 5G mrežama i umjetnom inteligencijom, te prikazuje viziju razvoja ovih sustava do 2030. godine.

Ključne riječi:

Kooperativni inteligentni transportni sustavi, urbanizacija, mobilnost, infrastruktura, digitalizacija podataka.

COOPERATIVE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Abstract:

This paper examines cooperative intelligent transport systems (C-ITS) and their importance in modernizing transport systems. Faced with the challenges of rapid urbanization and changing mobility patterns, traditional transport systems require new solutions. C-ITS technologies enable improved traffic management through communication between vehicles, infrastructure, and other traffic participants. The paper reviews the need for these technologies due to the growth in vehicle numbers and urbanization, emphasizing the importance of infrastructure modernization and data digitalization.

The history of C-ITS development is explored, including projects like PROMETHEUS and Smart Highway, along with current standardization initiatives. Key technologies, such as vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I), and vehicle-to-everything (V2X) communications, are presented as the foundation of modern transport systems.

Special attention is given to the impact of C-ITS on traffic safety, efficiency, and sustainability, highlighting the reduction of accidents, optimization of traffic flow, and reduction of emissions. The paper also analyzes the technical, financial, and legal challenges in implementing C-ITS, with a need for international cooperation.

The concluding section focuses on the future of C-ITS technologies, emphasizing integration with autonomous vehicles, smart cities, 5G networks, and artificial intelligence, and outlines a vision for the development of these systems by 2030.

Keywords: C-ITS, traffic management, urbanization, vehicle-to-everything communication, autonomous vehicles.

Sadržaj

1	UVOD.....	1
2	POTREBA ZA C-ITS TEHNOLOGIJAMA.....	3
2.1	Rast urbanizacije i pritisak na prometne sustave.....	3
2.2	Promjene u obrascima mobilnosti.....	4
2.3	Infrastruktura u potrebi za modernizacijom.....	4
2.4	Digitalizacija i integracija podataka.....	5
2.5	Povećana mobilnost i pristup uslugama.....	6
2.6	Unapređenje komercijalnog prijevoza i logistike.....	6
2.7	Inovacija i pametni gradovi.....	7
3	RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA C-ITS TEHNOLOGIJA.....	9
3.1	Povijest razvoja C-ITS sustava.....	9
3.1.1	Početni koncepti i istraživanja (1980. – 1990.).....	9
3.1.2	Prekretnice u razvoju kooperativnih sustava.....	10
3.1.3	Širenje primjene i komercijalizacija (2010. – danas).....	12
3.2	Projekti koji su uključivali C-ITS.....	13
3.2.1	Projekt PROMETHEUS.....	13
3.2.2	Smart Highway projekt.....	15
3.2.3	ITS Connect projekt.....	16
3.2.4	Connected Vehicle Pilot Deployment Program projekt.....	17
3.2.5	C-Roads projekt.....	18
3.3	Ključne C-ITS tehnologije.....	20
3.3.1	V2V (vehicle to vehicle) komunikacija.....	20
3.3.2	V2I (vehicle to infrastructure) komunikacija.....	21
3.3.3	V2X (vehicle to everything) komunikacija.....	22
4	UTJECAJ C-ITS-a NA SIGURNOST, UČINKOVITOST I ODRŽIVOST.....	23
4.1	Utjecaj C-ITS-a na sigurnost.....	23
4.2	Utjecaj C-ITS-a na učinkovitost.....	24
4.3	Utjecaj C-ITS-a na održivost.....	25
5	IZAZOVI U IMPLEMENTACIJI C-ITS TEHNOLOGIJA.....	27
5.1	Tehnički izazovi.....	27
5.2	Financijski i organizacijski izazovi.....	28
5.3	Pravni i regulacijski izazovi.....	28

6	BUDUĆNOST C-ITS TEHNOLOGIJA	30
6.1	Potencijalni razvojni smjerovi	30
6.1.1	Napredak u autonomnim vozilima.....	30
6.1.2	Integracija s pametnim gradovima	31
6.1.3	5G i C-ITS	31
6.1.4	Umjetna inteligencija u prometu.....	32
6.1.5	Vizija za 2030. godinu.....	34
7	ZAKLJUČAK.....	35
	POPIS LITERATURE	37
	POPIS SLIKA	39
	POPIS TABLICA.....	40
	POPIS GRAFIKONA I DIJAGRAMA.....	40

1 UVOD

Kooperativni inteligentni transportni sustavi (C-ITS) predstavljaju ključnu tehnologiju za unapređenje prometne infrastrukture i sigurnosti. Rad je podijeljen u sedam glavnih poglavlja:

1. Uvod
2. Potreba za C-ITS tehnologijama
3. Razvoj i implementacija C-ITS tehnologija
4. Utjecaj C-ITS na sigurnost, učinkovitost i održivost
5. Izazovi u implementaciji C-ITS tehnologija
6. Budućnost C-ITS tehnologija
7. Zaključak

Ubrzana urbanizacija, rast broja vozila te sve veći pritisak na prometne sustave nameću potrebu za inovativnim rješenjima koja mogu osigurati učinkovitije upravljanje prometom i sigurniju prometnu infrastrukturu. Kooperativni inteligentni transportni sustavi (C-ITS) predstavljaju važan tehnološki iskorak u modernizaciji prometnih mreža jer omogućuju komunikaciju između vozila, infrastrukture i drugih sudionika u prometu što rezultira boljim protokom prometa, smanjenjem zastoja, povećanjem sigurnosti te smanjenjem negativnih utjecaja na okoliš.

Tradicionalni prometni sustavi suočeni su s izazovima koje donosi ubrzana urbanizacija i promjene u obrascima mobilnosti. Sve veća koncentracija stanovništva u urbanim sredinama dovodi do povećanog prometnog opterećenja što stvara potrebu za modernizacijom infrastrukture i pronalaženjem novih načina za upravljanje prometom. C-ITS tehnologije nude ključna rješenja za ove izazove putem naprednih sustava koji omogućuju vozilima da komuniciraju međusobno kao i s prometnom infrastrukturom stvarajući tzv. "pametne prometne mreže". Takva povezanost donosi prednosti kao što su povećana sigurnost, optimizacija prometnih tokova i smanjenje emisija štetnih plinova.

Ovaj rad detaljno istražuje potrebu za primjenom C-ITS tehnologija uzimajući u obzir pritiske koje urbanizacija i promjene u mobilnosti stvaraju na prometne sustave. Nadalje, analiziraju se ključni faktori poput modernizacije infrastrukture, digitalizacije podataka te poboljšanja logistike i komercijalnog prijevoza koji ističu važnost primjene ovih naprednih tehnologija. Također, razmatra se povijesni razvoj C-ITS-a kroz ključne projekte i inicijative, kao što su PROMETHEUS, Smart Highway i C-Roads projekt, te se istražuju različiti oblici komunikacije

unutar C-ITS-a, uključujući V2V (vehicle-to-vehicle), V2I (vehicle-to-infrastructure) i V2X (vehicle-to-everything).

Rad se fokusira i na učinke C-ITS tehnologija na sigurnost, učinkovitost i održivost prometnih sustava. Naglašava se kako ova tehnologija može smanjiti broj prometnih nesreća, optimizirati prometne tokove te doprinijeti smanjenju emisija štetnih plinova što je izuzetno važno u kontekstu globalnih ciljeva održivog razvoja i klimatskih promjena. Osim toga, rad obrađuje izazove koji prate implementaciju C-ITS-a, uključujući tehničke, financijske i pravne prepreke, kao i potrebu za međunarodnom suradnjom u standardizaciji i zaštiti podataka.

Završni dio rada posvećen je budućnosti C-ITS tehnologija, s posebnim naglaskom na integraciju s autonomnim vozilima, pametnim gradovima, 5G mrežama i umjetnom inteligencijom. Iznosi se vizija razvoja C-ITS sustava do 2030. godine, kad se očekuje da će ove tehnologije postati ključni element modernih prometnih mreža, čime će se značajno doprinijeti stvaranju sigurnijih, učinkovitijih i održivijih gradova. U tom kontekstu C-ITS tehnologije predstavljaju neizostavan dio budućnosti prometnih sustava diljem svijeta.

2 POTREBA ZA C-ITS TEHNOLOGIJAMA

Potreba za C-ITS tehnologijama proizlazi iz složenih izazova modernih prometnih sustava koji su pod sve većim pritiskom zbog urbanizacije, rasta broja vozila i promjena u navikama mobilnosti. Razvoj tehnologije i novi zahtjevi korisnika postavljaju infrastrukturu i prometnu organizaciju pred niz problema koje tradicionalne metode upravljanja prometom više ne mogu učinkovito riješiti. C-ITS tehnologije pružaju mogućnosti za transformaciju prometnih sustava kroz integraciju naprednih digitalnih alata što omogućuje adaptivniju, fleksibilniju i inteligentniju organizaciju prometa [1].

2.1 Rast urbanizacije i pritisak na prometne sustave

Sve veći udio globalne populacije živi u urbanim sredinama, a prema podacima Ujedinjenih naroda očekuje se da će do 2050. godine gotovo 70 % svjetske populacije živjeti u gradovima. Ovaj rast urbanizacije povećava pritisak na postojeće prometne sustave, koji su već sad često preopterećeni. Tradicionalna infrastruktura i modeli upravljanja prometom ne mogu adekvatno odgovoriti na ovaj rastući trend, što rezultira većim gužvama, duljim vremenima putovanja i povećanim troškovima održavanja [2].

Primjer grada koji se suočava s izazovima urbanizacije i pritiska na prometne sustave je Mumbai u Indiji. Mumbai je, s populacijom koja prelazi 20 milijuna stanovnika, jedan od najgušće naseljenih gradova na svijetu. Populacija grada nastavlja rasti, a prema projekcijama Ujedinjenih naroda Indija će do 2050. godine imati jednu od najvećih urbanih populacija globalno. Ovaj rast urbanizacije uzrokuje značajan pritisak na postojeće prometne sustave [2].

Tradicionalna prometna infrastruktura u Mumbaiju teško može podržati ogroman broj vozila i putnika, što rezultira svakodnevnim gužvama, kašnjenjima i povećanim troškovima za održavanje cesta. Prosječno je vrijeme putovanja unutar grada izuzetno dugo, a prometne nesreće i zagađenje zraka dodatno pogoršavaju situaciju. Grad se suočava s nedostatkom prostora za proširenje prometnih mreža pa se rješenja moraju tražiti u pametnijim i inovativnijim pristupima upravljanju prometom [2].

C-ITS tehnologije omogućuju prilagodbu urbanih prometnih sustava povećanom opterećenju. Umjesto statičnih sustava signalizacije i upravljanja prometom C-ITS osigurava dinamične sustave koji mogu prilagoditi protok prometa u stvarnom vremenu na temelju podataka s terena. Tako gradovi mogu održavati visoku razinu mobilnosti unatoč rastućem broju

vozila i korisnika prometa te bi ovaj pristup mogao pomoći ne samo Mumbaiju već i drugim velikim urbanim sredinama suočenima s brzim rastom populacije, poput São Paula, Lagosa ili Džakarte. Uspješna primjena C-ITS tehnologija u ovakvim gradovima omogućila bi bolje korištenje postojećih resursa, smanjila bi zagađenje i troškove te povećala kvalitetu života stanovnika [2].

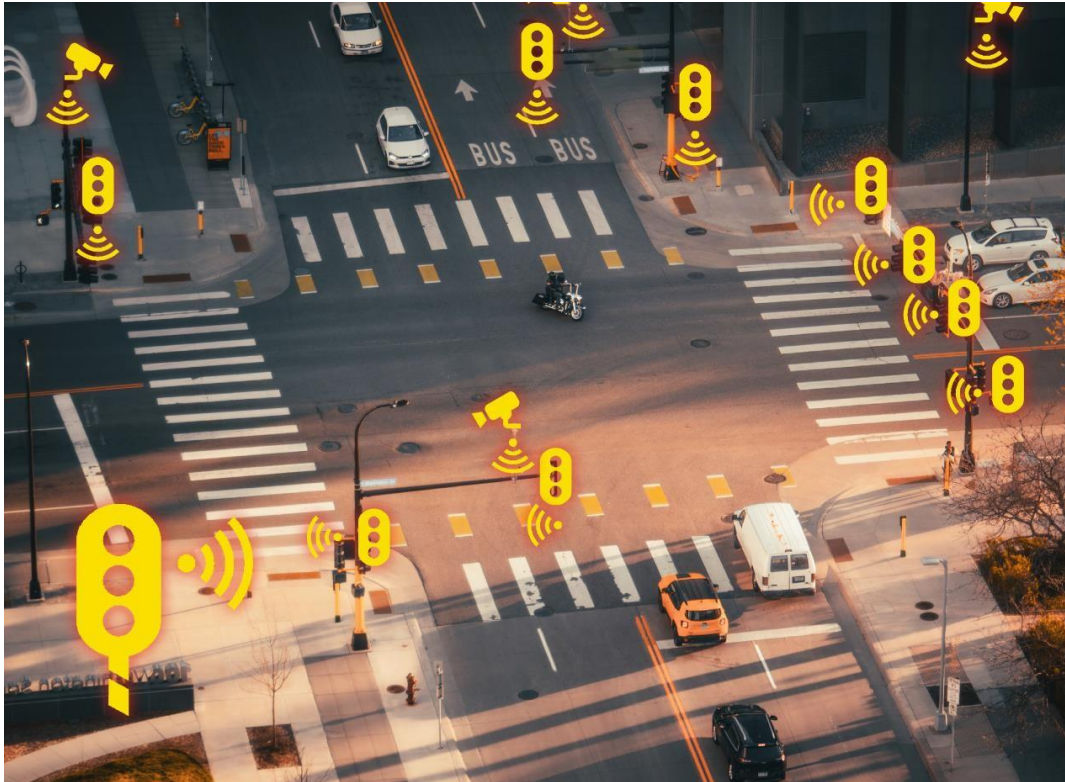
2.2 Promjene u obrascima mobilnosti

Današnji obrasci mobilnosti dramatično se mijenjaju. S porastom popularnosti zajedničkog prijevoza, rasta broja usluga mobilnosti na zahtjev (poput Ubera ili aplikacija za dijeljenje bicikala i skutera) te elektrifikacijom vozila, C-ITS tehnologije pružaju rješenja za upravljanje sve složenijim sustavom prometa. Na primjer, sustavi dijeljenja vozila (*car-sharing*) i multimodalne platforme trebaju integraciju s pametnim prometnim sustavima kako bi korisnicima osigurali pravovremene informacije o dostupnosti vozila, stanicama za punjenje i optimiziranim rutama [3].

Korištenje C-ITS tehnologija omogućuje prometnim operatorima i gradskim vlastima da bolje integriraju i koordiniraju različite oblike prijevoza – od javnog prijevoza i privatnih automobila do pješačkog i biciklističkog prometa. Na taj način gradovi mogu promovirati fleksibilniji i učinkovitiji model mobilnosti koji bolje odgovara potrebama korisnika i smanjuje ovisnost o privatnim automobilima [3].

2.3 Infrastruktura u potrebi za modernizacijom

Velik dio prometne infrastrukture, posebno u starijim gradovima, temelji se na zastarjelim tehnologijama i statičkim modelima upravljanja. Prometne signalizacije, semafori, sustavi za nadzor prometa i slične tehnologije često nisu dovoljno fleksibilni da odgovore na rastuće zahtjeve moderne mobilnosti. C-ITS omogućuje modernizaciju postojećih prometnih sustava putem inteligentne infrastrukture koja može brzo reagirati na promjene u prometnim tokovima i prilagoditi se u stvarnom vremenu [4].



Slika 1. Prikaz pametnih semafora [4].

Na slici 1. prikazani su pametni semafori koji komuniciraju s vozilima te mogu optimizirati prometne tokove prilagođavanjem svjetlosnih signala trenutnom broju vozila ili hitnim situacijama. Ovi sustavi ne samo da osiguravaju bolje upravljanje prometom, nego i produžuju životni vijek infrastrukture smanjujući njezino opterećenje i potrebu za stalnim popravcima [4].

2.4 Digitalizacija i integracija podataka

C-ITS tehnologije omogućuju korištenje velike količine podataka prikupljenih iz različitih izvora – od vozila, prometnih senzora, aplikacija za mobilnost, vremenskih stanica i drugih digitalnih uređaja. Ovi podatci mogu se koristiti za stvaranje prediktivnih modela prometa, koji pomažu u boljem planiranju infrastrukture, prognoziranju potreba za održavanjem i prilagodbi prometnih tokova [5].

S obzirom na to da se sve više podataka generira i razmjenjuje unutar prometnih mreža, postoji potreba za tehnologijama koje mogu obraditi te informacije na učinkovit način i pretvoriti ih u konkretne akcije. C-ITS omogućuje inteligentnu analizu podataka i automatsko donošenje

odluka u prometu, čime se smanjuje potreba za ljudskom intervencijom i povećava preciznost upravljanja [5].

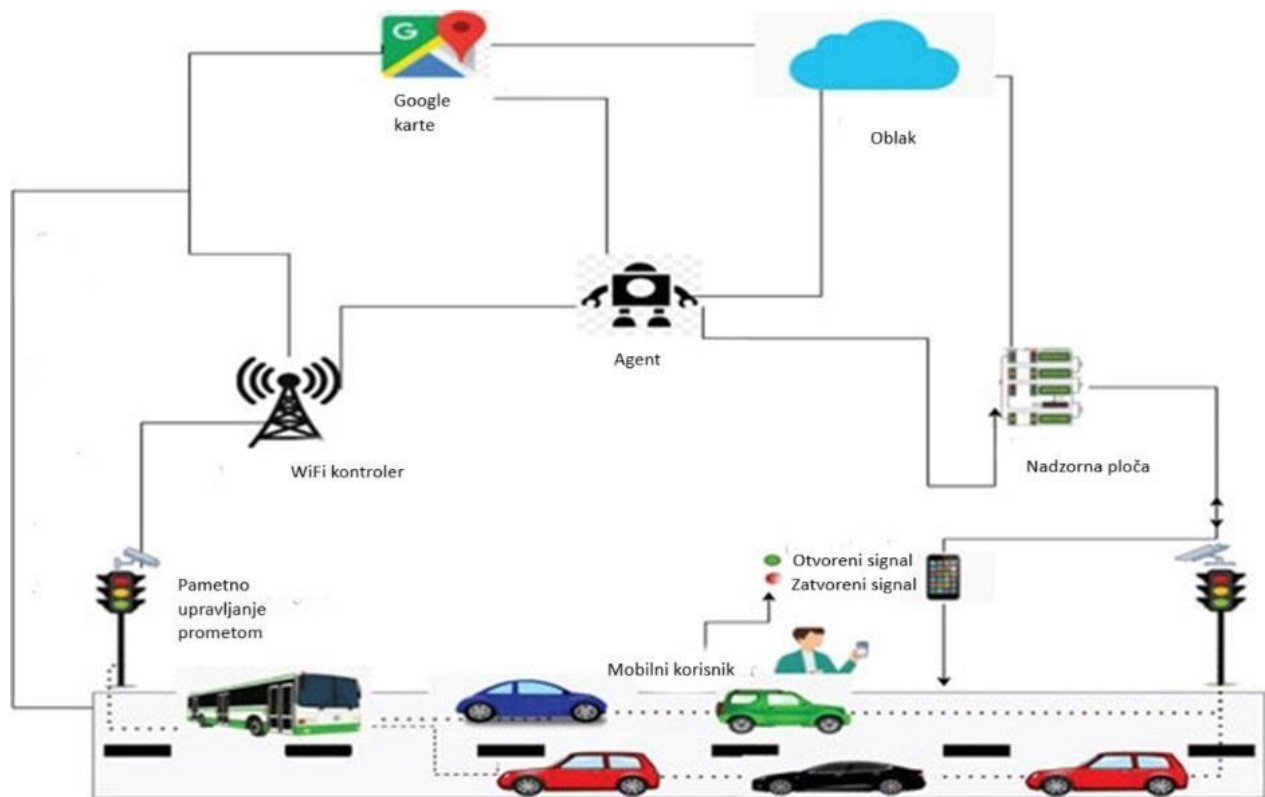
2.5 Povećana mobilnost i pristup uslugama

Jedan je od ključnih ciljeva razvoja prometnih sustava omogućiti veću mobilnost i bolji pristup uslugama za sve korisnike, uključujući osobe s invaliditetom, starije osobe i one koji žive u ruralnim područjima. C-ITS tehnologije mogu pomoći u poboljšanju dostupnosti prometa za ove skupine korisnika putem personaliziranih sustava za upravljanje putovanjima i optimizacije prometnih mreža [6].

Primjerice, C-ITS sustavi mogu pružiti specijalizirane rute za osobe s posebnim potrebama omogućujući im lakši pristup javnom prijevozu i drugim oblicima mobilnosti. Osim toga, ruralne zajednice, koje se često suočavaju s ograničenim pristupom prometnim uslugama, mogu imati koristi od C-ITS tehnologija koje optimiziraju prijevoz i omogućuju efikasniji rad usluga prijevoza na zahtjev [6].

2.6 Unapređenje komercijalnog prijevoza i logistike

Komercijalni prijevoz i logistika čine značajan dio globalnog prometnog sustava, a optimizacija ovih segmenata ključna je za ekonomski rast i održivost. C-ITS tehnologije omogućuju bolju koordinaciju i upravljanje flotama teretnih vozila smanjujući vrijeme isporuke i operativne troškove. Korištenje podataka u stvarnom vremenu pomaže logističkim tvrtkama da preciznije planiraju rute, predviđaju zastoje i smanjuju vrijeme čekanja na cestama [7].



Slika 2. Prikaz pametne prometne mreže [7].

Na slici 2. prikazuje se sustav pametne prometne mreže koji koristi podatke prikupljene od vozila, WiFi kontrolera i prometnih signala kako bi optimizirao promet. Informacije se obrađuju u oblaku i pomoću aplikacija poput Google karata, što omogućuje dinamično prilagođavanje semafora i obavještanje korisnika o zagušenjima putem mobilnih uređaja. Cilj je smanjiti prometne gužve i poboljšati protok prometa u stvarnom vremenu [7].

Pametne prometne mreže omogućuju vozilima da komuniciraju s infrastrukturom kako bi dobile prioritetni prolazak na određenim raskrižjima, čime se smanjuju zastoji i povećava učinkovitost dostave. Ove tehnologije također mogu optimizirati isporuku u urbanim sredinama, gdje zagušenja i ograničen prostor često predstavljaju izazov za brzu i učinkovitu logistiku [7].

2.7 Inovacija i pametni gradovi

C-ITS tehnologije su ključan element razvoja pametnih gradova jer omogućuju potpuno povezane prometne sustave koji komuniciraju sa širim gradskim ekosustavom. U pametnim su gradovima prometni sustavi integrirani s drugim gradskim funkcijama poput energetske mreže, usluga mobilnosti, zaštite okoliša i upravljanja otpadom. C-ITS doprinosi stvaranju ovakvih

gradova kroz automatizaciju i koordinaciju prometa, što doprinosi većoj kvaliteti života stanovnika [8].

Pametni gradovi koriste C-ITS kako bi pružili personalizirane usluge mobilnosti, smanjili zagušenja, poboljšali održivost i osigurali sigurniji promet. Na primjer, vozila mogu komunicirati s gradskom infrastrukturom kako bi dobila informacije o raspoloživim parkiralištima, vremenskim uvjetima, radovima na cesti i drugim relevantnim podacima, čime se omogućava učinkovitije upravljanje resursima u urbanim sredinama. Integracija C-ITS tehnologija u pametne gradove također omogućuje lakšu implementaciju autonomnih vozila, koja ovise o stalnoj razmjeni informacija s infrastrukturom i drugim vozilima. Ova razina povezanosti ne samo da poboljšava učinkovitost prometa, već i smanjuje opterećenje na infrastrukturu, produžuje njezin životni vijek te poboljšava cjelokupnu održivost prometnih sustava u modernim gradovima [8].

C-ITS tehnologije stoga predstavljaju ključan alat za rješavanje složenih izazova suvremenog prometa omogućujući pametniji, povezaniji i fleksibilniji prometni sustav koji može učinkovito odgovoriti na zahtjeve rastućih urbanih sredina i promjenjivih obrazaca mobilnosti [8].



Slika 3. Prikaz pametnog grada [8].

Na slici 3. primjer je pametnog grada Barcelone koji koristi razne tehnologije kako bi poboljšao kvalitetu života svojih stanovnika. To uključuje pametne prometne sustave, senzore za upravljanje energijom, sustave za kontrolu prometa i pametno upravljanje otpadom. Grad je integrirao IoT (Internet of Things) tehnologije za praćenje i optimizaciju različitih urbanih usluga

smanjujući zagađenje i poboljšavajući mobilnost. Pametni semafori, sustavi za dijeljenje bicikala i aplikacije za praćenje javnog prijevoza također su dio gradske infrastrukture [8].

3 RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA C-ITS TEHNOLOGIJA

Razvoj i implementacija C-ITS tehnologija predstavljaju ključan korak u modernizaciji prometnih sustava diljem svijeta. Ove tehnologije omogućuju vozilima, infrastrukturi i drugim elementima prometa da međusobno komuniciraju, čime se poboljšava učinkovitost i sigurnost cestovnog prometa. Od prvih istraživanja i pilot-projekata krajem 20. stoljeća do današnjih naprednih aplikacija u Europi, Sjevernoj Americi i Aziji C-ITS tehnologije kontinuirano evoluiraju, igrajući sve važniju ulogu u smanjenju zastoja, povećanju sigurnosti na cestama i poticanju održive mobilnosti [9].

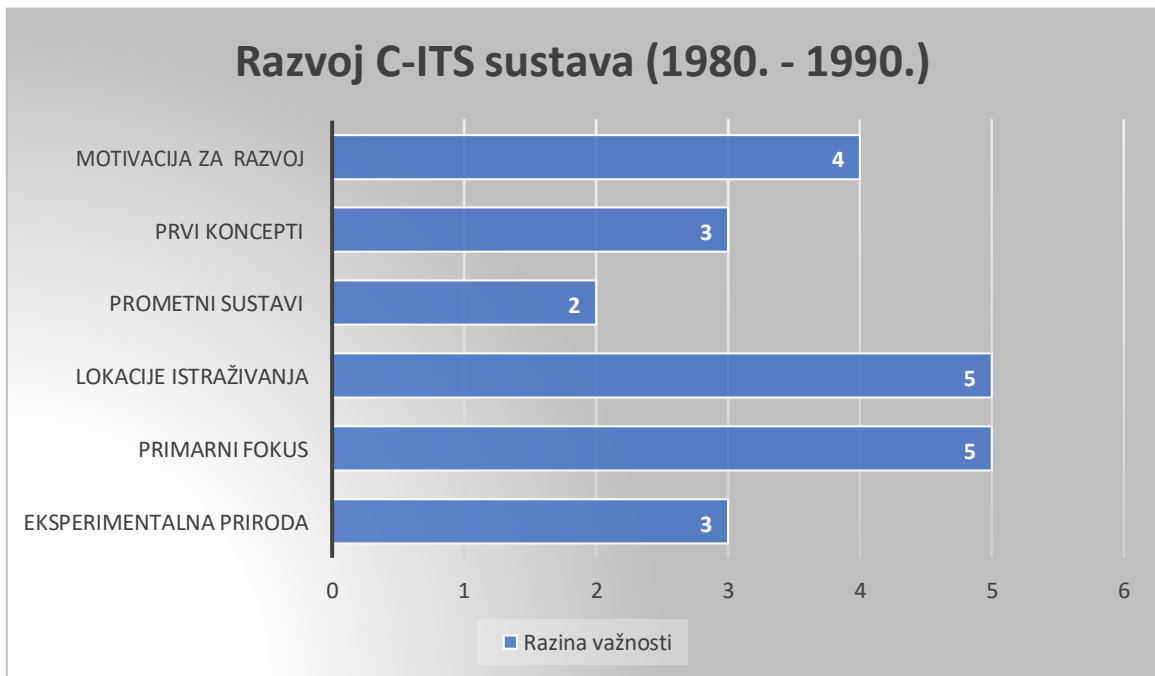
3.1 Povijest razvoja C-ITS sustava

Razvoj C-ITS (kooperativnih inteligentnih transportnih sustava) započeo je krajem 20. stoljeća kao odgovor na sve složenije zahtjeve modernih prometnih sustava. Rast broja vozila na cestama, ubrzana urbanizacija i sve veći pritisci na postojeću infrastrukturu potaknuli su istraživače, inženjere i zakonodavce na razmišljanje o novim načinima upravljanja prometom. Od ranih istraživačkih projekata do suvremenih aplikacija i implementacija, povijest razvoja C-ITS sustava može se pratiti kroz nekoliko ključnih faza koje su dovele do današnjeg napretka [10].

3.1.1 Početni koncepti i istraživanja (1980. – 1990.)

Rani razvoj C-ITS sustava potaknut je potrebom za većom sigurnošću, protočnošću i ekološkom održivošću u prometu. Prvi koncepti kooperativnih sustava pojavili su se krajem 1980-ih i početkom 1990-ih kad je prometna infrastruktura počela pokazivati znakove preopterećenosti u mnogim razvijenim zemljama. Tradicionalni prometni sustavi, koji su se oslanjali na statičke semafore i znakove, nisu mogli učinkovito riješiti rastuće zagušenosti u urbanim sredinama [10].

Tijekom ovog razdoblja u Sjedinjenim Američkim Državama i Japanu također su započeli projekti istraživanja inteligentnih transportnih sustava, čime se dodatno ubrao razvoj kooperativnih tehnologija. Ove rane inicijative uglavnom su se usmjerile na smanjenje prometnih nesreća, smanjenje vremena putovanja te optimizaciju upotrebe cestovne infrastrukture. Premda su rane faze bile eksperimentalne i često ograničene na testne lokacije, postavile su osnovne koncepte na kojima se kasniji razvoj mogao graditi [10].



Dijagram 1. Prikaz razina važnosti razvoja C-ITS [10].

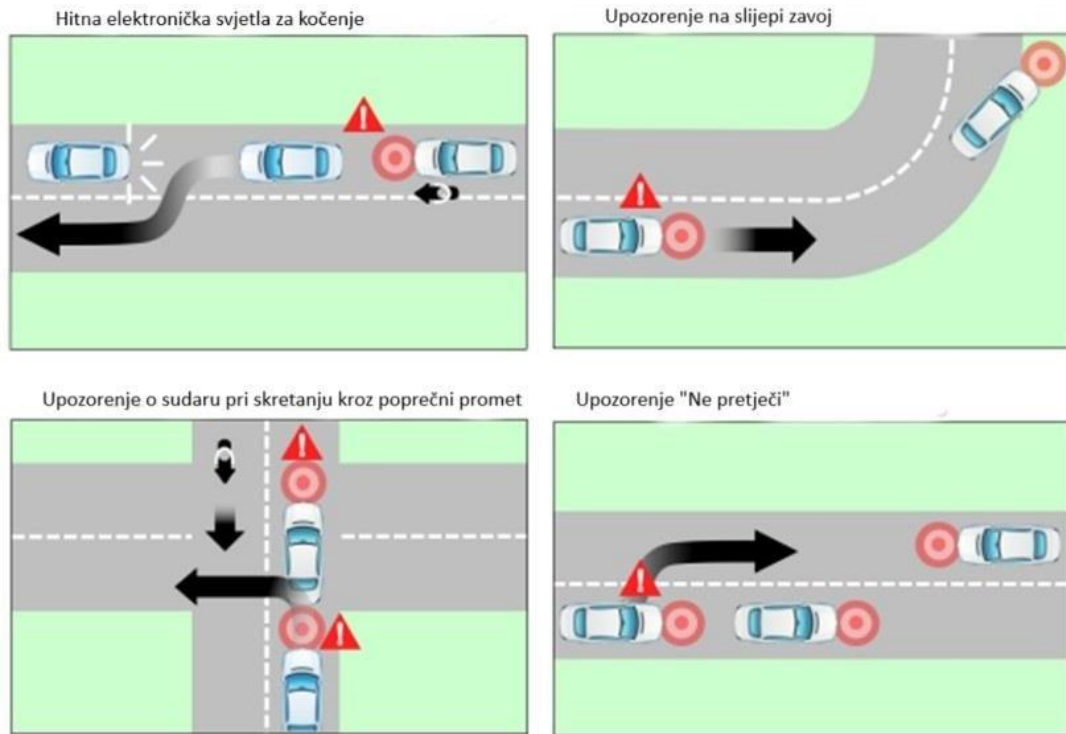
Dijagram 1. prikazuje relativnu važnost različitih elemenata razvoja C-ITS sustava u razdoblju od 1980. do 1990. godine. Motivacija za razvoj i primarni fokus (sigurnost, optimizacija prometa) dobili su visoke ocjene jer su bili ključni pokretači razvoja. Lokacije istraživanja poput SAD-a i Japana također su dobile visoku važnost jer su ove zemlje bile vodeće u eksperimentima. Prvi koncepti i eksperimentalna priroda označavaju početnu fazu, dok su prometni sustavi dobili nižu ocjenu jer su tadašnji sustavi još uvijek bili osnovni i statični [10].

3.1.2 Prekretnice u razvoju kooperativnih sustava

Početak 2000-tih razvoj C-ITS tehnologija doživljava ubrzanje. Glavni katalizator tog razvoja bio je napredak u digitalnim komunikacijama i računalnoj tehnologiji. Kako su mobilne mreže postajale sve brže i pouzdanije, a senzori i računalni sustavi napredniji, stvarala se infrastruktura potrebna za stvaranje pametnih prometnih sustava koji su mogli komunicirati u stvarnom vremenu [10].

Jedan od ključnih trenutaka u razvoju C-ITS sustava bio je pokretanje projekta u Japanu 2015. godine, koji je omogućio komunikaciju između vozila te između vozila i infrastrukture, koristeći napredne senzore i V2X (Vehicle-to-Everything) tehnologije. Ovaj projekt predstavljao je prvi veliki korak prema širokoj primjeni C-ITS sustava u urbanim područjima omogućujući vozilima da u stvarnom vremenu primaju informacije o stanju na cestama, prometnim nesrećama i

promjenama u semaforima. Postavio je temelj za daljnji razvoj autonomnih vozila koja se uvelike oslanjaju na C-ITS tehnologije kako bi sigurno i učinkovito funkcionirala u stvarnim prometnim uvjetima [10].



Slika 4. Prikaz sustava koje pruža V2X komunikacija [10].

Kao što prikazuje slika 4., informacije od drugih vozila mogu omogućiti pregled iza ugla i kroz prepreke omogućujući pregled okoline od 360 stupnjeva. Primjer elektroničkog kočionog svjetla u nuždi ilustrira situaciju koja se često događa u gustom prometu. Iako će automatsko kočenje aktivirati sustav kad vozilo dođe preblizu onome ispred, C-V2X tehnologija pruža ranija upozorenja o naglim zaustavljanjima, a emitirana poruka omogućuje svim sljedećim vozilima da održavaju sigurnu udaljenost [10].

Europska unija također je prepoznala važnost C-ITS tehnologija te je pokrenula niz velikih inicijativa za razvoj i standardizaciju tih sustava diljem kontinenta. Jedan od važnih koraka bio je uspostavljanje interoperabilnih C-ITS sustava unutar EU-a, gdje se kroz suradnju različitih zemalja osigurava kompatibilnost i standardizacija tehnologija. To omogućuje vozilima i prometnim sustavima iz različitih država da međusobno komuniciraju bez tehničkih prepreka. Ova inicijativa obuhvaća mnoge pilot-projekte koji testiraju različite aspekte C-ITS tehnologija, kao što su V2V, V2I i V2X komunikacije, pružajući temelje za njihovu širu primjenu u europskim prometnim sustavima [10].

3.1.3 Širenje primjene i komercijalizacija (2010. – danas)

Tijekom 2010-ih C-ITS tehnologije počinju se primjenjivati ne samo u eksperimentalnim uvjetima već i u svakodnevnim prometnim sustavima. Napredak u računalnim sustavima, sensorima i mobilnim mrežama omogućio je široku primjenu tih tehnologija u vozilima i cestovnoj infrastrukturi. Mnoge zemlje, uključujući i zemlje članice Europske unije, SAD, Japan i Južnu Koreju, počinju ugradnju pametnih sustava za upravljanje prometom u svojim gradovima i autocestama [10].

Autonomna vozila postaju sve važniji dio ove priče. U 2010-im godinama mnogi proizvođači automobila, uključujući Teslu, Google (Waymo) i tradicionalne marke poput Forda i GM-a, ulažu značajna sredstva u razvoj autonomnih sustava vožnje. Ti se sustavi uvelike oslanjaju na V2V i V2I komunikacije koje su omogućene putem C-ITS tehnologija. Na primjer, autonomna vozila koriste podatke iz C-ITS sustava kako bi predviđela prometne tokove, identificirala opasnosti i komunicirala s drugim vozilima na cesti kako bi osigurala sigurno kretanje [10].



Slika 5. Prikaz unutrašnjosti autonomnog vozila [10].

Slika 5. prikazuje unutrašnjost autonomnog vozila s naglaskom na tehnologiju pametnog upravljanja i povezivanja. Na prikazu su vidljive razne informacije poput navigacijskih podataka, bežične veze, komunikacije s drugim vozilima te senzori za prepoznavanje prepreka na cesti. Vozilo koristi V2X tehnologiju (Vehicle-to-Everything) koja omogućava interakciju s

infrastrukturu, drugim vozilima i prometnim sustavima u stvarnom vremenu. Slika naglašava naprednu tehnologiju koja omogućava sigurnu vožnju bez vozača, uz neprekidnu razmjenu podataka s okolinom [10].

Osim toga, mnoge su zemlje počele provoditi regulativne promjene kako bi podržale uvođenje C-ITS tehnologija. Vlade i međunarodne organizacije, poput Europske komisije i UN-ovih agencija za promet, aktivno rade na razvoju zakonskih okvira koji omogućuju širu primjenu C-ITS sustava. Standardizacija, međusobna kompatibilnost i regulacija privatnosti podataka postaju važna pitanja u ovom procesu jer osiguravaju da ti sustavi mogu sigurno i učinkovito funkcionirati diljem svijeta [10].

3.2 Projekti koji su uključivali C-ITS

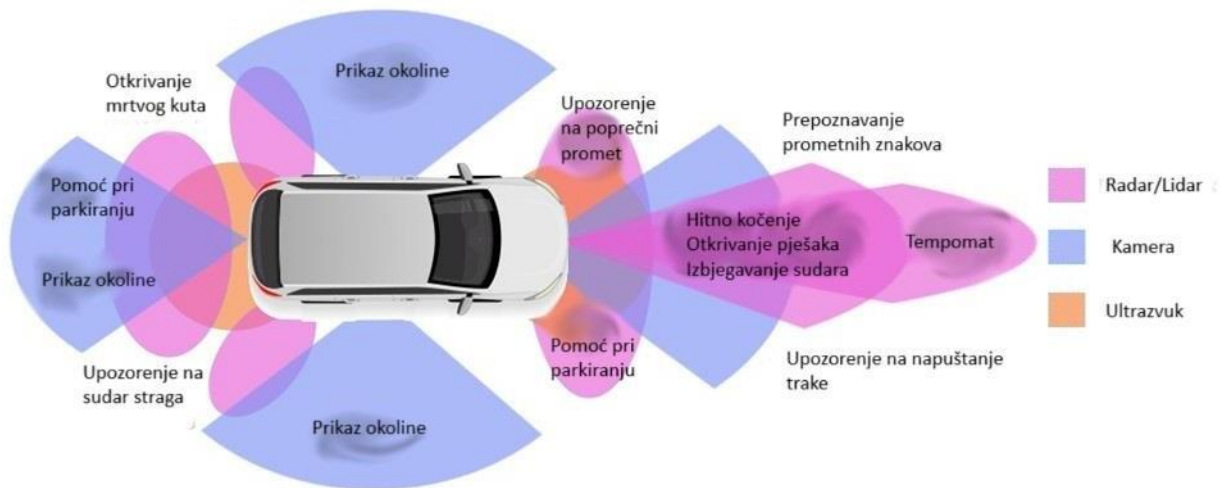
C-ITS (kooperativni inteligentni transportni sustavi) projekti implementirani su u različitim dijelovima svijeta, s fokusom na povećanje sigurnosti, učinkovitosti i održivosti prometa. Različite regije razvile su specifične projekte prilagođene svojim potrebama, infrastrukturnim uvjetima i razvojnim ciljevima. Ovdje su opisani neki od ključnih projekata u Europi, Sjedinjenim Američkim Državama i Aziji [11].

3.2.1 Projekt PROMETHEUS

PROMETHEUS (Program for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) bio je jedan od najvećih europskih istraživačkih projekata u području inteligentnih transportnih sustava. Pokrenut je 1986. godine pod vodstvom europskih proizvođača automobila i istraživačkih institucija. Projekt je trajao do 1995. godine i postavio temelje za današnje C-ITS sustave s ciljem poboljšanja sigurnosti, učinkovitosti i održivosti prometa. Ciljevi PROMETHEUS-a su bili sigurnost i razvoj tehnologija koje smanjuju broj prometnih nesreća kroz automatizaciju i asistenciju vozačima, učinkovitost i optimizacija prometnih tokova kako bi se smanjila zagušenosti i vrijeme putovanja te održivi promet i smanjenje emisija štetnih plinova putem inteligentnog upravljanja prometom [11].

Ključne inovacije:

- V2V i V2I komunikacija: Prometni sustavi omogućuju razmjenu podataka između vozila i infrastrukture što poboljšava sigurnost i smanjuje zastoje.
- Napredni senzori i asistencija vozaču: Tehnologije poput automatskog kočenja, prilagodljivog tempomata i sustava upozorenja.
- Inteligentno upravljanje prometom: Dinamički sustavi za prilagodbu prometa u stvarnom vremenu smanjujući zagušenja i optimizirajući tokove [11].



Slika 6. Prikaz naprednog sustava za asistenciju vozaču [11].

Slika 6. prikazuje funkcioniranje ADAS-a (Advanced Driver Assistance Systems) koristeći različite senzore i tehnologije za pomoć vozaču.

- Radar/LIDAR (roza) koristi se za sustave poput automatskog kočenja, otkrivanja pješaka, izbjegavanja sudara, prepoznavanja prometnih znakova i tempomata.
- Kamere (plavo) pružaju *surround view* (pogled u 360 stupnjeva), nadzor mrtvog kuta, pomoć pri parkiranju i upozorenja na napuštanje trake.
- Ultrazvuk (narančasto) koristi se za pomoć pri parkiranju i otkrivanje križnog prometa.

Sustav kombinira te senzore kako bi pružio vozačima bolju sigurnost i olakšao vožnju putem automatiziranih funkcija [11].

3.2.2 Smart Highway projekt

Smart Highway Project u Južnoj Koreji, pokrenut 2013. godine, predstavlja jednu od najnaprednijih inicijativa u primjeni C-ITS tehnologija. Cilj je ovog projekta stvaranje inteligentnih autocesta koje povećavaju sigurnost, optimiziraju promet i podržavaju razvoj autonomnih vozila. Kroz upotrebu naprednih tehnologija kao što su komunikacije vozilo-vozilo (V2V) i vozilo-infrastruktura (V2I) projekt omogućuje stalnu razmjenu podataka između vozila i infrastrukture. Korištenjem V2I komunikacija vozila primaju pravovremene informacije o prometnim uvjetima, nesrećama ili radovima na cesti čime se omogućava prilagodba vožnje u stvarnom vremenu. V2V tehnologija omogućuje vozilima da međusobno komuniciraju, što smanjuje rizik od sudara kroz dijeljenje informacija o brzini i promjenama smjera kretanja [11].



Slika 7. Prikaz svjetlećih linija na autocesti [11].

Na slici 7. prikazuje se cesta sa svjetlećim linijama (*glowing lines*), inovativnim prometnim rješenjem koje koristi foto-luminescentne boje. Ove linije upijaju svjetlost tijekom dana i svijetle noću što pomaže vozačima bolje vidjeti rubove ceste u mraku bez potrebe za dodatnom rasvjetom. Takvi sustavi koriste se kako bi se povećala sigurnost na cestama, posebice u područjima koja nemaju uličnu rasvjetu ili na dugim, ruralnim cestama. Ovo je dio širih napora da se stvore pametne autoceste s energetski učinkovitijim rješenjima [11].

Smart Highway Project ne samo da poboljšava sigurnost na cestama već i smanjuje zastoje i emisije što pridonosi održivijem prometu. Ovaj projekt postavlja temelje za širu primjenu autonomnih vozila i daljnji razvoj pametnih prometnih sustava u Južnoj Koreji [11].

3.2.3 ITS Connect projekt

ITS Connect japanski je projekt pokrenut 2015. godine s ciljem poboljšanja sigurnosti na cestama i podrške razvoju autonomnih vozila. Ovaj projekt omogućuje vozilima komunikaciju međusobno (V2V) i s prometnom infrastrukturom (V2I) stvarajući mrežu koja u stvarnom vremenu razmjenjuje važne podatke o uvjetima na cestama. To uključuje informacije o prometnim nesrećama, preprekama, promjenama u semaforima i prisutnosti pješaka ili biciklista [11].

ITS Connect posebno je koristan u gustim urbanim sredinama gdje vozilima osigurava primanje pravovremenih upozorenja o opasnostima i prometnim uvjetima. Na primjer, ako semafor planira promijeniti svjetlo ili ako ispred vozila dolazi do naglog kočenja, sustav automatski šalje te informacije vozačima omogućujući im brzu reakciju i smanjenje rizika od sudara [11].



Slika 8. Prikaz navigacijskog sustava koji upozorava korisnike o stanju na cesti [11].

Slika 8. prikazuje navigacijski sustav koji vozaču pruža informacije o trenutnom stanju na cesti. Na lijevoj strani prikazana je trenutna ruta vožnje na autocesti A1 s ograničenjem brzine od 80 km/h. Također, vozač dobiva upozorenja o radovima na cesti i gužvama na dionici ispred sebe, što je označeno crvenom bojom. Desna strana prikazuje širu kartu s trenutnim položajem vozila kao i informacije o drugim mogućim smetnjama na putu, poput zastoja ili zagušenja. Vozač može vidjeti udaljenost do problema na cesti i procijenjeno vrijeme kašnjenja. Ova vrsta navigacijskog sustava koristi se za optimizaciju vožnje, pravovremeno obavještanje o stanju na cestama i smanjenje rizika od gužvi ili nesreća [11].

Projekt je ključan za integraciju C-ITS tehnologija u japanski prometni sustav te za razvoj autonomnih vozila koja ovise o ovim komunikacijskim sustavima kako bi sigurno funkcionirala u stvarnom prometu [11].

3.2.4 Connected Vehicle Pilot Deployment Program projekt

Connected Vehicle Pilot Deployment Program američki je projekt koji je pokrenulo Ministarstvo prometa Sjedinjenih Američkih Država (USDOT) s ciljem testiranja i primjene C-ITS tehnologija u stvarnim uvjetima. Program je usmjeren na poboljšanje sigurnosti, učinkovitosti prometa i smanjenje emisija štetnih plinova putem komunikacijskih tehnologija koje omogućuju vozilima međusobnu razmjenu podataka (V2V) te komunikaciju između vozila i prometne infrastrukture (V2I) [11].

Projekt uključuje tri glavne lokacije u SAD-u:

- New York City, gdje se tehnologija koristi za smanjenje broja prometnih nesreća, posebno na raskrižjima.
- Tampa, Florida, gdje je cilj smanjiti zagušenja i poboljšati sigurnost u urbanom prometu.
- Wyoming, gdje se tehnologija primjenjuje za unapređenje sigurnosti na autocestama, posebno u uvjetima lošeg vremena [11].

Ovaj program omogućuje vozilima da u stvarnom vremenu razmjenjuju informacije o uvjetima na cesti, kao što su nagla kočenja, gužve ili opasnosti, što vozačima pomaže da pravovremeno reagiraju. Program istražuje i kako ove tehnologije mogu podržati razvoj autonomnih vozila i poboljšati ukupnu učinkovitost prometnih sustava. [11].



Slika 9. Prikaz ključnih elementa i izazova za uvođenje CV tehnologija (povezanih vozila) [11].

Slika 9. prikazuje ključne aspekte i izazove vezane uz uvođenje tehnologije povezanih vozila (CV) i infrastrukture u prometnim sustavima. Poticanje ranog uvođenja CV tehnologija, mjerenje koristi implementacije i rješavanje izazova implementacije. Ovom slikom želi se pokazati kako povezane tehnologije mogu poboljšati sigurnost i mobilnost, ali i ukazati na prepreke koje treba prevladati kako bi se te tehnologije uspješno implementirale [11].

3.2.5 C-Roads projekt

C-Roads je paneuropski projekt pokrenut 2016. godine s ciljem implementacije i testiranja C-ITS (kooperativnih inteligentnih transportnih sustava) na cestama diljem Europske unije. Cilj je projekta uspostaviti interoperabilne C-ITS sustave koji omogućuju komunikaciju između vozila (V2V) i između vozila i prometne infrastrukture (V2I) čime se poboljšava sigurnost i učinkovitost prometa. Glavni ciljevi C-Roads projekta su:

- Interoperabilnost: Osigurati da C-ITS sustavi razvijeni u različitim zemljama članicama EU-a budu međusobno kompatibilni. To znači da vozila iz jedne zemlje mogu komunicirati s infrastrukturom u drugoj zemlji bez tehničkih prepreka.
- Testiranje novih tehnologija: U projekt su uključeni pilot-projekti u različitim zemljama gdje se testiraju C-ITS tehnologije u stvarnim prometnim uvjetima. Tehnologije poput

upozorenja na nesreće, prepreke na cesti, dinamične prilagodbe brzine i informacija o radovima na cestama testiraju se u svrhu poboljšanja sigurnosti i smanjenja zastoja.

- Sigurnost i učinkovitost: Povećati sigurnost na cestama smanjenjem nesreća te omogućiti učinkovitiji promet smanjenjem zastoja kroz bolje upravljanje prometnim tokovima [11].

Projekt C-Roads predstavlja ključan korak prema stvaranju integriranog prometnog sustava u Europi koji omogućuje sigurniji, učinkovitiji i ekološki održiv promet kroz uporabu naprednih tehnologija [11].

Tablica 1. Prikaz projekta, opis projekta, države i godine izdavanja projekta [11].

Projekt	Država/regija	Opis projekta	Godina	
1	PROMETHEUS	Europska unija	Jedan od prvih projekata ITS tehnologija, usmjeren na povećanje sigurnosti i učinkovitosti prometa kroz V2V i V2I komunikaciju.	1986.
2	Smart Highway Project	Južna Koreja	Testiranje inteligentnih prometnih sustava na autocestama i podrška autonomnim vozilima.	2013.
3	ITS Connect	Japan	Komunikacija između vozila i infrastrukture radi povećanja sigurnosti i podrške autonomnim vozilima	2015.
4	Connected Vehicle Pilot Deployment Program	Sjedinjene Američke Države	Testiranje povezanih vozila u stvarnim uvjetima kako bi se unaprijedila sigurnost i učinkovitost prometa.	2015.
5	C-Roads	Europska unija	Pilot-projekti interoperabilnih C-ITS sustava diljem Europe.	2016.

3.3 Ključne C-ITS tehnologije

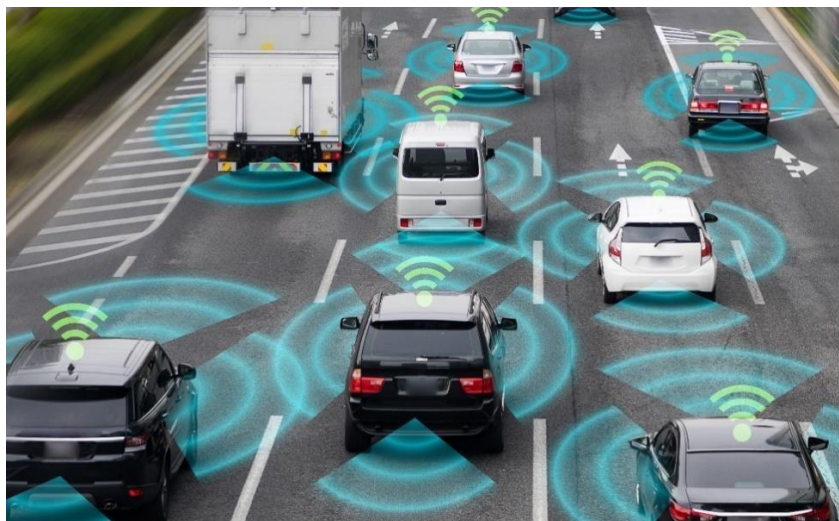
Ključne C-ITS tehnologije čine osnovu za naprednu komunikaciju unutar prometnih sustava omogućujući vozilima, infrastrukturi i okolini dijeljenje podataka u stvarnom vremenu. Tehnologije poput V2V (komunikacija vozilo-vozilo), V2I (komunikacija vozilo-infrastruktura) i V2X (komunikacija vozilo-sa-svime) značajno poboljšavaju sigurnost, smanjuju zagušenja i optimiziraju protok prometa [12].

Ove tehnologije ne samo da olakšavaju integraciju autonomnih vozila, već i unapređuju održivost prometnih mreža, omogućujući bržu reakciju na promjene uvjeta i bolje upravljanje prometom [12].

3.3.1 V2V (vehicle to vehicle) komunikacija

V2V komunikacija omogućuje vozilima da međusobno razmjenjuju podatke u stvarnom vremenu o svom stanju i uvjetima na cesti. To uključuje podatke o brzini, smjeru, položaju, promjeni trake i naglom kočenju. Ova razmjena podataka poboljšava sigurnost u prometu jer vozila mogu reagirati na potencijalne opasnosti brže nego što to može vozač. Primjeri funkcionalnosti:

- Upozorenje na opasnost: Ako vozilo ispred naglo koči, vozilo iza može putem V2V komunikacije automatski primiti obavijest o opasnosti i automatski usporiti ili kočiti.
- Upozorenje o promjeni trake: Vozilo koje planira promijeniti traku može putem V2V sustava upozoriti vozila u susjednim trakama čime se smanjuje rizik od sudara.
- Platooning: Grupa vozila može komunicirati i sinkronizirati svoje brzine omogućujući vožnju u formaciji, čime se smanjuje otpor zraka i poboljšava potrošnja goriva [12].



Slika 10. Prikaz V2V komunikacije [12].

Prednosti V2V komunikacije uključuju smanjenje broja prometnih nesreća, poboljšanje protočnosti prometa i omogućavanje sigurnije vožnje, osobito u uvjetima slabije vidljivosti, kao što su loše vrijeme ili noćna vožnja. [12].

3.3.2 V2I (vehicle to infrastructure) komunikacija

V2I komunikacija omogućuje vozilima razmjenu informacija s prometnom infrastrukturom, poput semafora, znakova, kamera i cestovnih senzora. Ova komunikacija ključna je za poboljšanje učinkovitosti prometa i smanjenje zastoja jer vozila dobivaju podatke o stanju na cestama i infrastrukturnim promjenama u stvarnom vremenu. Primjeri funkcionalnosti su:

- Dinamičko upravljanje semaforima: Vozilo može komunicirati sa semaforom kako bi primilo informacije o vremenu promjene svjetla omogućujući vozačima da prilagode brzinu i smanje potrebu za naglim zaustavljanjem. Ova tehnologija također omogućuje semaforima da dinamički mijenjaju trajanje zelenog ili crvenog svjetla na temelju stvarnog stanja prometa.
- Upozorenje na radove na cestama ili nesreće: Cestovni senzori mogu slati informacije vozilima o nesrećama, radovima ili drugim preprekama na cesti omogućujući im da na vrijeme odaberu alternativne rute.
- Pametna parkirališta: Vozilo može komunicirati s pametnim parkiralištima kako bi primilo informacije o slobodnim mjestima čime se smanjuje vrijeme traženja parkiranja i optimizira promet [12].



Slika 11. Prikaz V2I komunikacije [12].

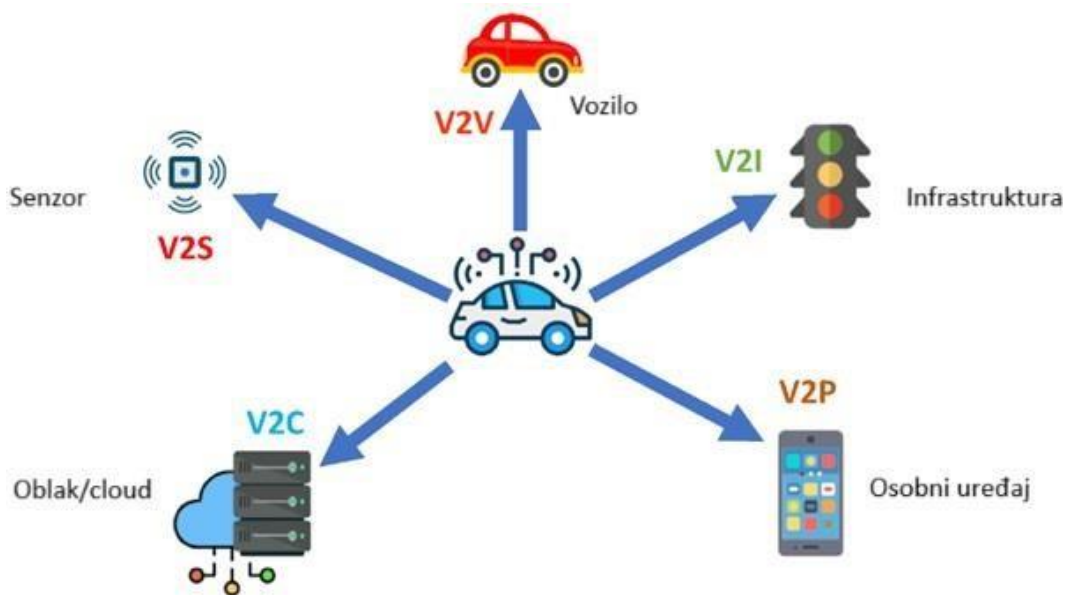
Prednosti V2I komunikacije uključuju smanjenje zastoja, poboljšanje protočnosti prometa i optimizaciju korištenja prometne infrastrukture. Ova komunikacija doprinosi i smanjenju emisija štetnih plinova jer vozilima omogućuje izbjegavanje nepotrebnih zaustavljanja i ubrzanja [12].

3.3.3 V2X (vehicle to everything) komunikacija

V2X komunikacija proširuje koncept V2V i V2I na širi ekosustav omogućujući komunikaciju vozila sa svim elementima u njegovom okruženju. To uključuje ne samo druga vozila i infrastrukturu, već i pješake, bicikliste, motocikliste i druge sudionike u prometu. V2X kombinira V2V, V2I i komunikaciju s pametnim uređajima i okolišem čime se stvara sveobuhvatna mreža koja povećava sigurnost i učinkovitost prometa. Primjeri funkcionalnosti su:

- Upozorenje o prisutnosti pješaka ili biciklista: Pametni pješački prijelazi i uređaji koje nose pješaci (npr. pametni telefoni) mogu komunicirati s vozilima.
- Komunikacija s prometnim sustavima i javnim prijevozom: V2X omogućuje vozilima komunikaciju s javnim prijevoznim sredstvima kako bi dobila informacije o dolasku autobusa, tramvaja ili vlakova olakšavajući međusobnu integraciju različitih oblika prijevoza.
- Integracija s pametnim gradovima: Vozila komuniciraju s cijelom infrastrukturom pametnih gradova, uključujući prometnu signalizaciju, senzore za zagađenje zraka, stanice za punjenje električnih vozila i druge resurse čime se omogućuje učinkovitije upravljanje prometom i resursima [12].

Prednosti V2X komunikacije leže u njoj sposobnosti da stvori potpuno povezani prometni ekosustav. Time ne samo da se povećava sigurnost na cestama, već se omogućuje bolja integracija različitih oblika mobilnosti (pješačenje, biciklizam, javni prijevoz), poboljšava učinkovitost prometa i smanjuje opterećenje na infrastrukturu [12].



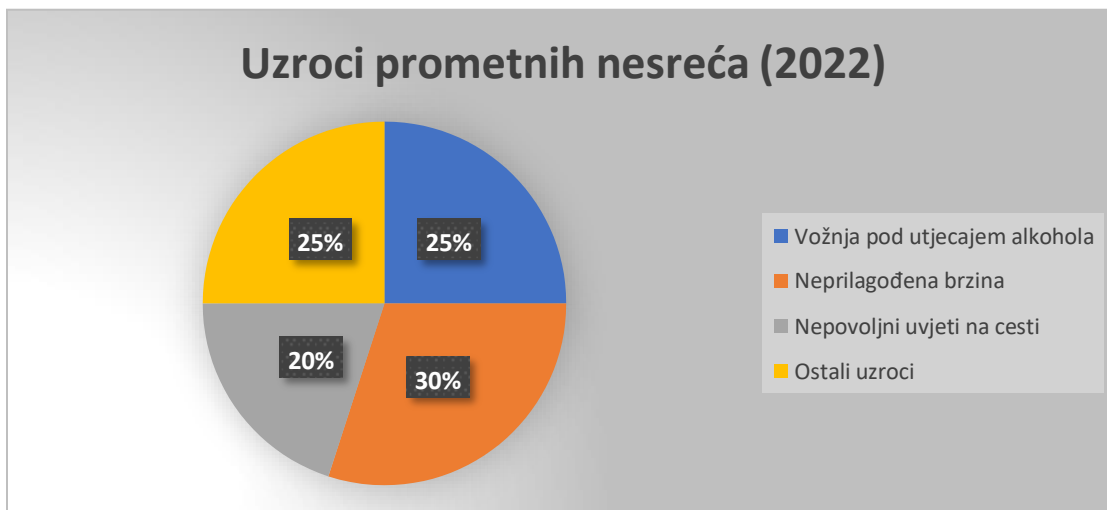
Slika 12. Prikaz V2V, V2I i V2X komunikacije [12].

4 UTJECAJ C-ITS-a NA SIGURNOST, UČINKOVITOST I ODRŽIVOST

C-ITS ima veliki utjecaj na poboljšanje sigurnosti, učinkovitosti i održivosti prometnih sustava. Ova tehnologije omogućuje međusobnu komunikaciju vozila i infrastrukture u stvarnom vremenu što dovodi do značajnih prednosti za sve aspekte modernog prometa, uključujući smanjenje sudara, zastoja te emisija štetnih plinova [1].

4.1 Utjecaj C-ITS-a na sigurnost

Broj prometnih nesreća na globalnoj razini i dalje je visok. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) u 2022. godini više od 1,35 milijuna ljudi izgubilo je život u prometnim nesrećama, a dodatnih 50 milijuna je ozlijeđeno. Glavni uzroci nesreća uključuju neprilagođenu brzinu, vožnju pod utjecajem alkohola i nepovoljne uvjete na cesti. Troškovi povezani s prometnim nesrećama procjenjuju se na 3 % globalnog BDP-a, što uključuje izravne troškove liječenja, gubitak produktivnosti te troškove popravaka i osiguranja. Jedan od ključnih ciljeva C-ITS tehnologija smanjenje je broja prometnih nesreća. Sustavi komunikacije vozilo-vozilo (V2V) i vozilo-infrastruktura (V2I) omogućuju vozilima razmjenjivanje važnih podataka o brzini, položaju, uvjetima na cesti i mogućim opasnostima. Ova razmjena podataka pomaže vozačima da brže reagiraju na prijetnje i izbjegnu sudare. Prema studijama Europske komisije primjena C-ITS tehnologija može smanjiti broj prometnih nesreća za čak 30 %. C-ITS sustavi također uključuju napredne sigurnosne funkcije poput automatskog kočenja, upozorenja o napuštanju trake i pomoć pri vožnji u uvjetima smanjene vidljivosti. Na primjer, ako vozilo detektira vozilo ispred koje naglo koči, sustav automatski šalje upozorenje drugim vozilima kako bi smanjili brzinu i izbjegli potencijalni sudar. Ova razina komunikacije i reakcije igra ključnu ulogu u sprečavanju nesreća, osobito u urbanim sredinama s gustim prometom [1].



Grafikon 1. Prikaz uzroka prometnih nesreća (2022.) [1].

4.2 Utjecaj C-ITS-a na učinkovitost

Prometne zagušenosti predstavljaju jedan od ključnih problema u urbanim područjima širom svijeta. Prema izvještaju Inrix Traffic Scorecarda iz 2023. godine vozači u nekim od najvećih svjetskih gradova gube prosječno 100 sati godišnje zbog zastoja u prometu. Primjerice, u Londonu, koji je jedan od najzagušenijih gradova u Europi, vozači su 2022. godine proveli čak 156 sati u prometnim zastojima, dok su u Los Angelesu, vozači izgubili oko 119 sati. Ovakvi problemi ne samo da uzrokuju frustraciju među vozačima, već imaju i značajne ekonomske posljedice. Prema istraživanju TomTom Traffic Indexa ekonomski gubitci uzrokovani prometnim zagušenjima u velikim gradovima iznose milijarde dolara godišnje s obzirom na gubitak radnog vremena i povećane operativne troškove za vozila [1].

Tablica 2. Prikaz prometne zagušenosti u gradovima [1].

Grad	Sati u zastoju (2022.)	Gubitci u milijardama USD-a
London	156	9,1
Los Angeles	119	6,3
Pariz	138	7,2
Moskva	133	7,5
New York	102	5,8

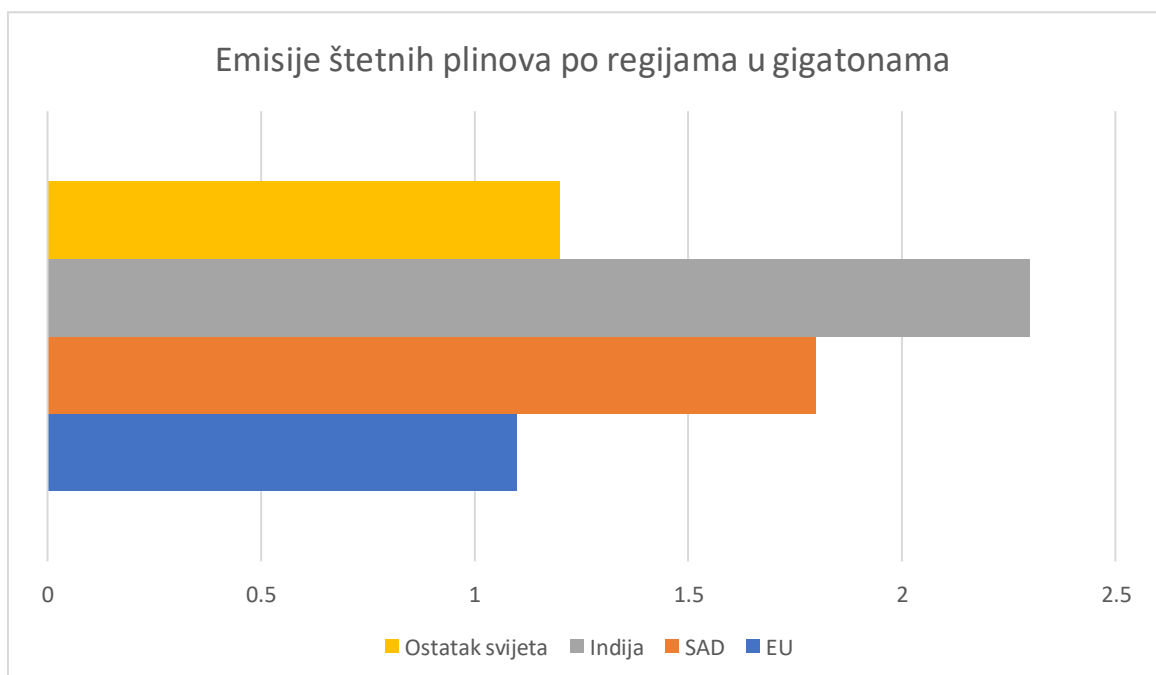
C-ITS tehnologije pomažu u smanjenju zastoja kroz optimizaciju prometa u stvarnom vremenu. Komunikacija između vozila i infrastrukture omogućuje inteligentno upravljanje prometom, što uključuje prilagodbu semafora i prometnih znakova na temelju trenutne prometne situacije. Primjerice, inteligentni semafori mogu omogućiti dulje trajanje zelenog svjetla za vozila koja se nalaze na glavnim cestama tijekom vršnih sati, dok prilagođavanje prometa na osnovi podataka s terena može preusmjeriti vozila na manje opterećene rute. Studije pokazuju da C-ITS sustavi mogu smanjiti vrijeme čekanja u prometu i zagušenja za čak 20 %, što rezultira većom učinkovitošću i smanjenjem frustracije među vozačima [1].

C-ITS tehnologije omogućuju vozačima i putnicima optimizaciju putovanja u realnom vremenu putem preciznih informacija o stanju na cestama i prometnim gužvama. Sustavi navigacije, potpomognuti C-ITS podacima, nude najbrže i najefikasnije rute na temelju trenutnih uvjeta. Ovo ne samo da smanjuje vrijeme putovanja, već i pomaže vozačima da izbjegnu prometne gužve i potencijalne opasnosti. Uz to, C-ITS sustavi omogućuju optimizaciju prijevoza na duge relacije putem komunikacije između vozila što je posebno korisno za komercijalni prijevoz. Korištenje naprednih podataka može optimizirati logističke operacije,

skratiti vrijeme isporuke i smanjiti troškove goriva. Na ovaj način vozači i tvrtke mogu iskoristiti prednosti efikasnijih prometnih tokova što doprinosi većoj produktivnosti i manjoj potrošnji energije [1].

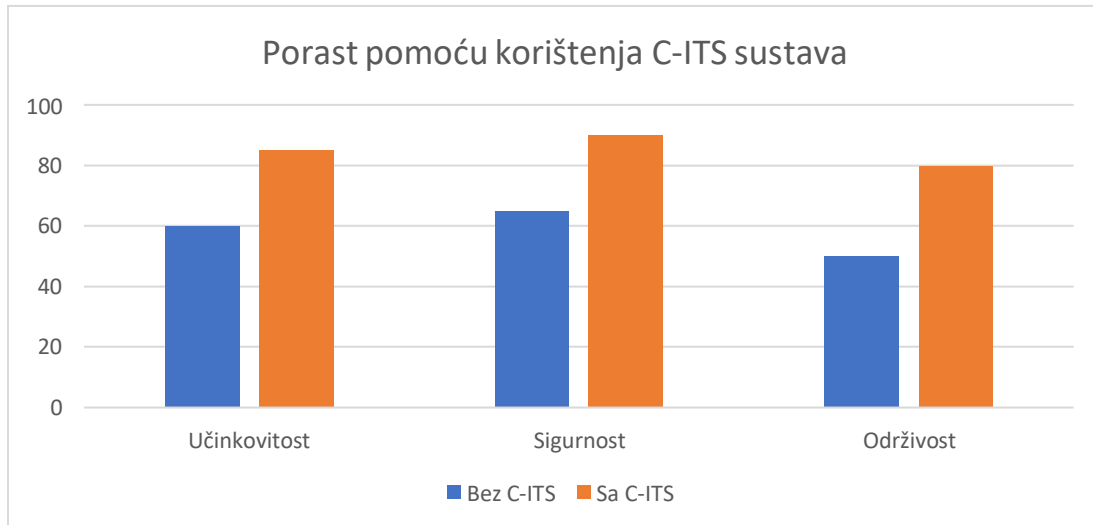
4.3 Utjecaj C-ITS-a na održivost

Promet je jedan od najvećih izvora emisija stakleničkih plinova koji doprinose globalnom zagrijavanju. Europska agencija za okoliš (EEA) procjenjuje da je promet odgovoran za 25 % ukupnih emisija CO₂ u Europskoj uniji. Također, prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), globalne emisije iz prometa dosegnule su 7,3 gigatona CO₂ u 2022. godini. Ove emisije ne samo da ugrožavaju okoliš već i zdravlje ljudi te doprinose povećanju razine zagađenja zraka. Jedan od ključnih doprinosa C-ITS tehnologija održivosti je smanjenje emisija stakleničkih plinova. S obzirom na to da cestovni promet doprinosi značajnom dijelu globalnih emisija CO₂, optimizacija prometa može značajno smanjiti nepotrebnu potrošnju goriva. Smanjenjem zastoja, skraćivanjem vremena putovanja i poticanjem ekološke vožnje C-ITS tehnologije pomažu u smanjenju emisija štetnih plinova [1].



Dijagram 2. Prikaz emisije štetnih plinova po regijama [1].

Zbog toga korištenje C-ITS tehnologija značajno poboljšava sve aspekte sigurnosti, održivosti i učinkovitosti. Svi aspekti povećaju se za određeni postotak što nam je i cilj pa se samim time poboljšava prometni sustav i čini ga sigurnijim i ekološki prihvatljivijim [1].



Dijagram 3. Prikaz porasta učinkovitosti, sigurnosti i održivosti korištenjem C-ITS sustava [1].

5 IZAZOVI U IMPLEMENTACIJI C-ITS TEHNOLOGIJA

Implementacija C-ITS tehnologija donosi brojne prednosti, ali i izazove koje je potrebno riješiti kako bi se osiguralo njihovo učinkovito funkcioniranje u prometnim sustavima. Ovi izazovi uključuju tehničke, financijske, organizacijske te pravne i regulacijske prepreke, a njihovo prevladavanje ključno je za postizanje punog potencijala C-ITS sustava [13].

5.1 Tehnički izazovi

Jedan od najvažnijih tehničkih izazova je osigurati da različiti sustavi i tehnologije unutar C-ITS sustava budu međusobno kompatibilni, odnosno interoperabilni. C-ITS sustavi obuhvaćaju brojne komponente – od vozila i infrastrukture do komunikacijskih mreža i softverskih rješenja – koje moraju surađivati kako bi sustav funkcionirao ispravno [13].

Interoperabilnost postaje osobito složena u međunarodnom kontekstu, gdje različite zemlje koriste različite standarde i tehnologije. Europska unija je kroz projekte poput C-Roads radila na standardizaciji C-ITS sustava, ali još uvijek postoji izazov harmonizacije različitih sustava u globalnim prometnim mrežama. Rješenje ovog izazova zahtijeva međunarodnu suradnju i razvoj jedinstvenih komunikacijskih protokola koji će omogućiti vozilima i infrastrukturi iz različitih regija da međusobno komuniciraju bez prepreka [13].

Sigurnost podataka i privatnost ključni su tehnički izazovi u implementaciji C-ITS tehnologija jer ovi sustavi prikupljaju i razmjenjuju velike količine osjetljivih informacija u stvarnom vremenu. Podatci o lokaciji, brzini i rutama vozila kao i informacije o ponašanju vozača mogu biti zloupotrijebljeni ako se ne zaštite adekvatno [13].

Rizik od *cyber*-napada i neovlaštenog pristupa podacima može ugroziti sigurnost cijelog sustava. Stoga, sigurnosne mjere poput enkripcije podataka i autentifikacijskih protokola moraju biti strogo implementirane kako bi se spriječile takve prijetnje. Osim toga, pitanje privatnosti je važno i zbog toga što mnogi korisnici brinu o tome kako će se njihovi osobni podatci koristiti i tko će imati pristup do njih. Regulacija i politike koje definiraju kako se podatci pohranjuju, koriste i dijele ključne su za prevladavanje ovih problema [13].

5.2 Financijski i organizacijski izazovi

Implementacija C-ITS tehnologija zahtijeva značajna financijska ulaganja što predstavlja jedan od glavnih izazova, osobito za manje razvijene zemlje i regije. Troškovi implementacije uključuju izgradnju infrastrukture (inteligentni semafori, senzori, komunikacijski sustavi), razvoj softverskih rješenja kao i modernizaciju postojećih prometnih sustava kako bi podržavali nove tehnologije [13].

Održavanje i nadogradnja sustava, osim početnih troškova, iziskuju i dugoročne financijske resurse. Financiranje C-ITS projekata često dolazi iz kombinacije javnih i privatnih izvora, ali nerijetko se susreću s problemima u financiranju zbog visokih troškova. Ove financijske prepreke mogu usporiti razvoj i širu implementaciju C-ITS tehnologija, osobito u manje razvijenim regijama [13].

Uspješna implementacija C-ITS sustava zahtijeva suradnju između više različitih dionika, uključujući vlade, privatne tvrtke, proizvođače automobila, pružatelje telekomunikacijskih usluga i gradsku infrastrukturu. Organizacijska suradnja često nailazi na izazove zbog različitih interesa, tehnologija i poslovnih modela [13].

Ključno je razviti zajedničku viziju i strategiju za razvoj C-ITS tehnologija, pri čemu svi dionici moraju surađivati na razvoju zajedničkih standarda i protokola. Nedostatak koordinacije i suradnje između ključnih aktera može dovesti do fragmentiranih sustava koji nisu kompatibilni ili učinkoviti, što usporava cjelokupni napredak [13].

5.3 Pravni i regulacijski izazovi

Pravni i regulacijski okvir za C-ITS tehnologije još uvijek je u fazi razvoja u mnogim dijelovima svijeta. Postojeći zakoni o sigurnosti na cestama i prometu ne uzimaju u obzir složenost i specifičnosti kooperativnih inteligentnih sustava što znači da je potrebna prilagodba zakonodavstva kako bi podržalo implementaciju novih tehnologija [13].

Ključno je uspostaviti pravila koja definiraju odgovornosti različitih sudionika u prometu, od proizvođača vozila do operatera infrastrukture i samih vozača. Na primjer, pitanje tko je odgovoran u slučaju nesreće u kojoj sudjeluje vozilo s autonomnim ili poluautonomnim sustavom, zahtijeva jasne zakonske smjernice. Bez odgovarajuće regulacije provedba C-ITS sustava može biti usporena ili dovedena u pitanje zbog pravnih nejasnoća [13].

Etika i odgovornost predstavljaju važan izazov u implementaciji C-ITS tehnologija, osobito kad je riječ o autonomnim vozilima i automatiziranim sustavima odlučivanja. Primjerice, autonomni sustavi moraju donositi odluke u složenim prometnim situacijama, poput izbora između sudara s drugim vozilom ili preprekom na cesti. Pitanje etičke odgovornosti u ovakvim situacijama još uvijek nije u potpunosti riješeno [13].

Tko je odgovoran za odluke koje donose autonomni sustavi? Proizvođači vozila, programeri softvera, vlasnici vozila ili operateri infrastrukture? Ova pitanja zahtijevaju precizne zakonske regulative i etičke smjernice kako bi se izbjegle nejasnoće i osigurala sigurnost svih sudionika u prometu [13].

6 BUDUĆNOST C-ITS TEHNOLOGIJA

C-ITS (kooperativni inteligentni transportni sustavi) predstavljaju temelj za budućnost prometnih sustava. Kroz integraciju s naprednim tehnologijama poput 5G mreža, umjetne inteligencije i autonomnih vozila C-ITS će revolucionirati način na koji se upravlja prometom, čineći ga sigurnijim, učinkovitijim i održivijim. Razvojni smjerovi ukazuju na snažnu ulogu C-ITS sustava u pametnim gradovima gdje će omogućiti optimalno upravljanje prometom u realnom vremenu, smanjenje zastoja i emisija te povećanje sigurnosti na cestama. Ovaj odjeljak detaljno analizira ključne razvojne smjerove, nove tehnologije koje će podržati C-ITS sustave i različite scenarije budućnosti s naglaskom na ulogu vlada i privatnog sektora [14].

6.1 Potencijalni razvojni smjerovi

U potencijalne razvojne smjerove možemo uključiti brojne smjerove, ali neki od važnijih su napredak u autonomnim vozilima, integracija s pametnim gradovima, nove tehnologije kao što su 5G i C-ITS, umjetna inteligencija u prometu i neki scenariji za budućnost kao što je vizija C-ITS tehnologija za 2030. godinu [14].

6.1.1 Napredak u autonomnim vozilima

Autonomna vozila predstavljaju jednu od najznačajnijih promjena u prometnim sustavima, a C-ITS tehnologije ključne su za njihov napredak i sigurnu integraciju u svakodnevni promet. Autonomna vozila zahtijevaju stalnu razmjenu podataka s okolinom kako bi mogla sigurno navigirati i donositi odluke u realnom vremenu. C-ITS omogućava komunikaciju vozilo-vozilo (V2V) i vozilo-infrastruktura (V2I), čime se smanjuje rizik od nesreća i poboljšava upravljanje prometom [14].

Sposobnost autonomnih vozila da komuniciraju s infrastrukturom i drugim vozilima omogućit će im da unaprijed dobiju informacije o stanju na cesti, promjenama u prometu ili opasnostima što će omogućiti pravovremene prilagodbe brzine, ruta ili druge sigurnosne mjere. Na primjer, ako autonomno vozilo primi podatke o prometnoj nesreći nekoliko kilometara unaprijed, sustav može predložiti alternativnu rutu, smanjujući vrijeme putovanja i izbjegavajući potencijalno opasne situacije. Nadalje, komunikacija između vozila omogućit će *platooning* ili vožnju u koloni, gdje vozila putuju u uskom razmaku, što smanjuje otpor zraka i povećava energetska učinkovitost [14].

C-ITS tehnologije igrat će presudnu ulogu u osiguravanju da autonomna vozila mogu sigurno koegzistirati s tradicionalnim vozilima i pješacima. U budućnosti će autonomna vozila uz podršku C-ITS sustava biti sposobna eliminirati ljudske greške u prometu koje su glavni uzrok prometnih nesreća danas [14].

6.1.2 Integracija s pametnim gradovima

Pametni gradovi postaju budućnost urbanih sredina, a C-ITS tehnologije bit će ključne u njihovoj realizaciji. Pametni gradovi koriste digitalne tehnologije za upravljanje gradskim resursima, uključujući promet, energiju, vodu i zbrinjavanje otpada. C-ITS će omogućiti integraciju prometnih sustava s tim resursima stvarajući efikasniju i povezaniju gradsku infrastrukturu [14].

U pametnim gradovima budućnosti C-ITS sustavi će omogućiti semaforima, parkiralištima, cestama i vozilima da međusobno komuniciraju i prilagođavaju se trenutnim uvjetima. Na primjer, sustavi će moći automatski prilagoditi duljinu trajanja zelenog svjetla na semaforima ovisno o gustoći prometa, dok će pametna parkirališta slati informacije vozačima o dostupnim mjestima u stvarnom vremenu. Ovo će drastično smanjiti gužve, smanjiti potrošnju goriva i povećati brzinu kretanja kroz urbane sredine [14].

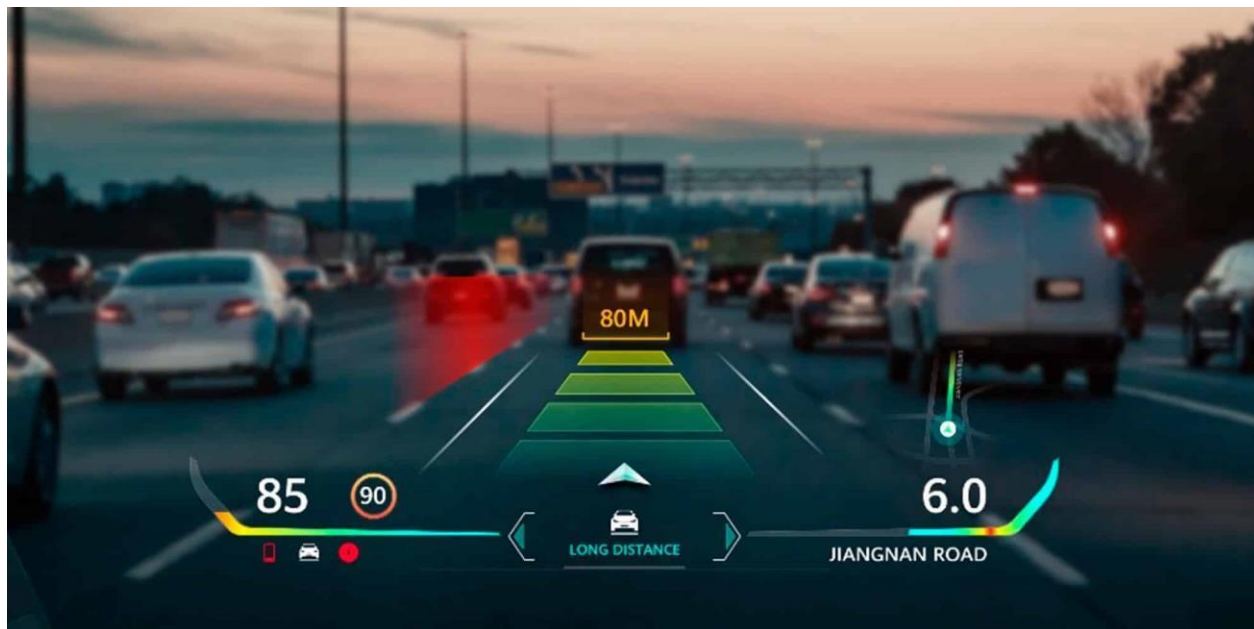
Uz to, pametni gradovi koriste podatke prikupljene putem C-ITS sustava za planiranje budućih infrastrukturnih projekata. Analizom prometnih obrazaca gradske vlasti mogu identificirati kritične točke zagušenja i efikasnije planirati nadogradnju ili proširenje prometne mreže. Ova razina integracije omogućit će dinamične, fleksibilne prometne sustave koji će se moći brzo prilagoditi promjenama u potražnji za mobilnošću [14].

6.1.3 5G i C-ITS

Uvođenje 5G mreža donosi značajna poboljšanja za C-ITS tehnologije jer omogućuje brži prijenos podataka i smanjenje latencije što je ključno za sigurnost i funkcionalnost ovih sustava. S obzirom na to da C-ITS sustavi ovise o prijenosu velike količine podataka u stvarnom vremenu, poput informacija o prometu, vremenskim uvjetima i položaju vozila, 5G mreže pružaju potrebnu brzinu i stabilnost za neometano funkcioniranje sustava [14].

Prednosti 5G mreža u C-ITS tehnologijama uključuju ne samo brži prijenos podataka, već i veću pouzdanost te manji broj prekida u komunikaciji. Na primjer, autonomno vozilo može

instantno primiti podatke o naglom kočenju vozila ispred, a sustavi poput automatskog kočenja mogu reagirati gotovo trenutačno, smanjujući rizik od sudara. Osim toga, 5G mreže omogućit će precizniju navigaciju i točniji sustav za praćenje vozila što će biti od posebne važnosti u urbanim područjima s visokim prometom [14].

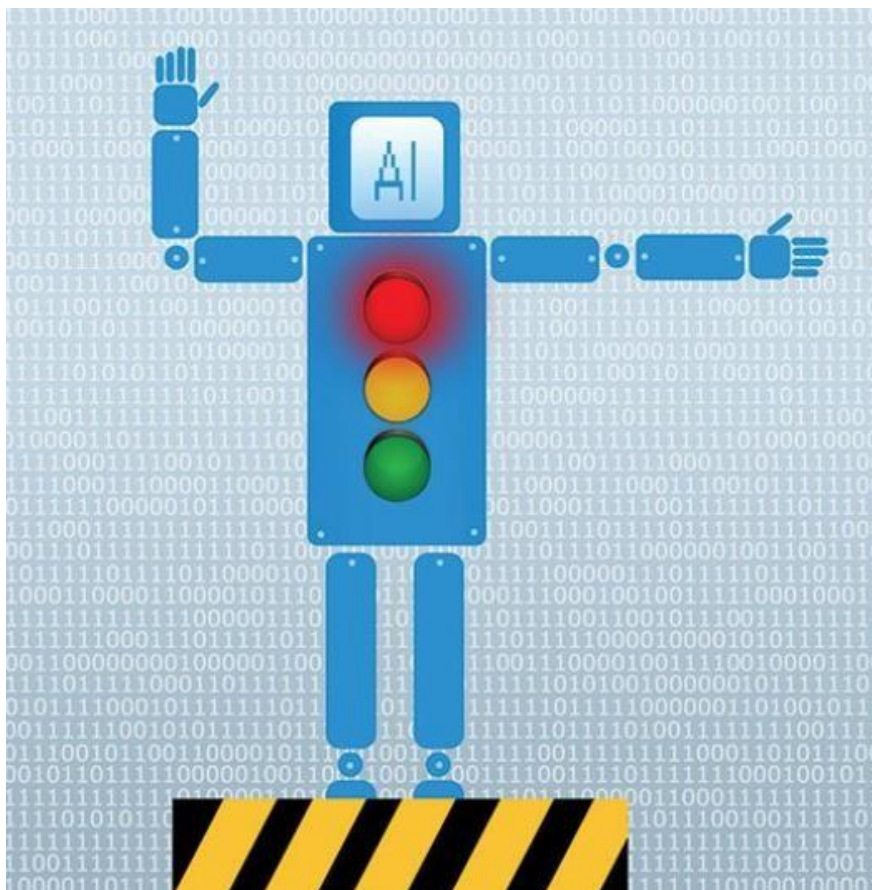


Slika 13. Prikaz proširene stvarnosti [14].

U kombinaciji s 5G tehnologijom C-ITS sustavi moći će podržati nove aplikacije, poput proširene stvarnosti (AR) u prometnim sustavima gdje bi vozači putem pametnih ekrana unutar vozila mogli dobiti informacije o prometnim uvjetima, alternativnim rutama, statusu semafora i slobodnim parkirnim mjestima, sve u stvarnom vremenu [14].

6.1.4 Umjetna inteligencija u prometu

Umjetna inteligencija (AI) već sad postaje ključan alat za upravljanje složenim prometnim sustavima, a njena primjena u C-ITS tehnologijama bit će ključna za budućnost pametnog prometa. AI sustavi mogu analizirati ogromne količine podataka prikupljenih iz različitih izvora, uključujući prometne senzore, vozila i infrastrukturu, i na temelju tih podataka optimizirati prometne tokove [14].



Slika 14. Prikazuje kako AI može upravljati prometnim signalima [14].

Slika 14. prikazuje kako će, polako ali sigurno, AI preuzeti čitav prometni sustav te njime upravljati bez prisutnosti čovjeka. Jedna od najvažnijih primjena AI-a u C-ITS tehnologijama je u prediktivnoj analitici. AI sustavi mogu predvidjeti gdje će se dogoditi zagušenja na temelju povijesnih podataka, trenutnih uvjeta na cesti i vremenskih uvjeta. Ovi sustavi mogu automatski prilagoditi prometne signale ili preusmjeriti vozila kako bi se spriječila zagušenja prije nego što se dogode. Također, AI omogućuje autonomno odlučivanje u prometu, gdje sustavi mogu prilagođavati prometne uvjete u realnom vremenu bez potrebe za ljudskom intervencijom [14].

U budućnosti će AI igrati ključnu ulogu u upravljanju flotama autonomnih vozila analizirajući podatke o ponašanju vozila i optimizirajući rute kako bi se smanjila potrošnja goriva, emisije i vrijeme putovanja. AI će omogućiti i održavanje infrastrukture predviđajući potrebe za popravcima i smanjujući troškove održavanja kroz preventivno djelovanje [14].

6.1.5 Vizija za 2030. godinu

Do 2030. godine C-ITS tehnologije će biti široko implementirane u prometne sustave, osobito u razvijenim zemljama i urbanim područjima. Predviđa se da će autonomna vozila postati uobičajen prizor na cestama, a C-ITS sustavi će igrati ključnu ulogu u koordinaciji između autonomnih i konvencionalnih vozila. Mnogi pametni gradovi koristit će C-ITS za dinamičko upravljanje prometom smanjujući gužve i optimizirajući potrošnju energije [14].



Slika 14. Prikaz povezanog futurističkog grada [14].

U ovoj viziji prometni će sustavi biti potpuno povezani i sposobni za automatsko donošenje odluka na temelju podataka u stvarnom vremenu. Na primjer, gradski prometni sustavi moći će prilagoditi prometne tokove na temelju vremenskih uvjeta ili broja vozila [14].

7 ZAKLJUČAK

C-ITS (kooperativni inteligentni transportni sustavi) predstavljaju budućnost prometa u suvremenim urbanim sredinama gdje se sve veći pritisak stavlja na prometne mreže zbog urbanizacije, promjena u mobilnosti i sve kompleksnijih prometnih potreba. Ove tehnologije omogućuju napredne sustave upravljanja prometom koji donose znatne prednosti u smislu učinkovitosti, sigurnosti i održivosti. C-ITS sustavi kroz svoju sposobnost integracije podataka iz više izvora i pružanja pravovremenih informacija svim sudionicima u prometu omogućuju fleksibilnije i inteligentnije prometne tokove. S obzirom na to da su globalne prometne mreže pod sve većim pritiskom, C-ITS tehnologije postaju ključno rješenje za optimizaciju prometa i smanjenje negativnih utjecaja na okoliš.

Potreba za C-ITS tehnologijama posebno se ističe u kontekstu urbanizacije jer rast broja stanovnika u gradovima izaziva prometne zagušenosti, zahtijeva modernizaciju postojeće infrastrukture i prilagodbu novih obrazaca mobilnosti. Promjene u potrebama korisnika, kao i nove usluge poput dijeljenja vozila i elektrifikacije, također stvaraju dodatne pritiske na prometne sustave, a C-ITS tehnologije omogućuju bolju koordinaciju i integraciju ovih usluga. Također, unapređenje komercijalnog prijevoza i logistike uz pomoć C-ITS sustava doprinosi većoj učinkovitosti i smanjenju troškova što donosi velike ekonomske koristi.

Razvoj i implementacija C-ITS tehnologija prolazi kroz različite faze, a ključne tehnologije poput V2V, V2I i V2X komunikacija već su se pokazale iznimno važnima. Povijesni projekti poput PROMETHEUS-a, ITS-Connecta i C-Roads-a postavili su temelje za današnje napredne C-ITS sustave, dok primjeri implementacije u Europskoj uniji, SAD-u i Aziji pokazuju kako ove tehnologije mogu biti uspješno integrirane u različitim dijelovima svijeta.

Utjecaj C-ITS tehnologija na sigurnost, učinkovitost i održivost prometa ne može se podcijeniti. U pogledu sigurnosti C-ITS omogućuje pravovremenu reakciju na opasnosti i smanjuje broj nesreća putem automatske komunikacije između vozila i infrastrukture. Kad je riječ o učinkovitosti, ovi sustavi omogućuju optimizaciju prometnih tokova i smanjenje zastoja čime se povećava brzina kretanja vozila i smanjuje vrijeme putovanja. Na kraju, C-ITS ima veliki doprinos održivosti smanjujući emisije štetnih plinova kroz bolje upravljanje prometom i energetske učinkovitošću vozila.

Međutim, usprkos mnogobrojnim prednostima, implementacija C-ITS tehnologija suočava se s izazovima. Tehnički izazovi, poput osiguravanja interoperabilnosti između različitih sustava i zaštite podataka, ključni su za osiguravanje nesmetanog funkcioniranja C-ITS sustava. Financijski i organizacijski izazovi uključuju visoke troškove implementacije te potrebu za suradnjom između više dionika, uključujući vlade, privatne tvrtke i korisnike. Pravni i regulacijski izazovi također igraju važnu ulogu, osobito u pogledu zakonodavstva i etičkih pitanja vezanih za korištenje podataka i autonomnih sustava.

Budućnost C-ITS tehnologija nudi mnogobrojne mogućnosti. Napredak u autonomnim vozilima i njihova integracija u svakodnevni promet ključna je za razvoj učinkovitih prometnih sustava, dok će integracija s pametnim gradovima omogućiti dinamičko upravljanje gradskim resursima. Pojava 5G mreža donijet će dodatne mogućnosti za poboljšanje brzine i pouzdanosti komunikacije unutar C-ITS sustava, dok će umjetna inteligencija omogućiti sofisticiranije upravljanje prometom kroz prediktivnu analizu i autonomno donošenje odluka.

Vizija za 2030. godinu predviđa da će C-ITS tehnologije postati standard u razvijenim gradovima osiguravajući bolje upravljanje prometom, smanjenje emisija i veće zadovoljstvo korisnika. Kroz suradnju vlada i privatnog sektora ove će tehnologije imati ključnu ulogu u oblikovanju održivih i sigurnih prometnih sustava budućnosti. C-ITS će omogućiti gradovima da odgovore na rastuće prometne zahtjeve, dok će autonomna vozila i napredni sustavi upravljanja prometom doprinijeti globalnim ciljevima smanjenja emisija i poboljšanju kvalitete života.

POPIS LITERATURE

- [1] European Commission. *C-ITS Platform: Final Report*. Brussels: European Commission; 2016. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its-platform_en [Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.]
- [2] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations; 2018. Preuzeto s: <https://population.un.org/wup/> [Pristupljeno: 26. kolovoza 2024.]
- [3] International Transport Forum. *ITF Transport Outlook 2019*. Paris: OECD Publishing; 2019. Preuzeto s: <https://www.itf-oecd.org/itf-transport-outlook-2019> [Pristupljeno: 30. kolovoza 2024.]
- [4] European Commission. *Action Plan on Urban Mobility*. Brussels: European Commission; 2018. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility_en [Pristupljeno: 30. kolovoza 2024.]
- [5] OECD/ITF. *Data-Driven Transport Policy*. Paris: OECD Publishing; 2015. Preuzeto s: <https://www.oecd-ilibrary.org/> [Pristupljeno: 30. kolovoza 2024.]
- [6] European Commission. *Sustainable and Smart Mobility Strategy*. Brussels: European Commission; 2020. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/mobilitystrategy_en [Pristupljeno: 1. rujna 2024.]
- [7] World Economic Forum. *Innovations in Freight Transportation and Logistics*. Geneva: World Economic Forum; 2018. Preuzeto s: <https://www.weforum.org/> [Pristupljeno: 2. rujna 2024.]
- [8] Batty M, Axhausen KW, Giannotti F, et al. Smart Cities of the Future. *European Physical Journal Special Topics*; 2012. Preuzeto s: <https://link.springer.com/article/10.1140/epjst/e2012-01703-3> [Pristupljeno: 2. rujna 2024.]
- [9] European Commission. *C-ITS Deployment in Europe: Current Status and the Way Forward*. Brussels: European Commission; 2019. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en [Pristupljeno: 2. rujna 2024.]
- [10] Tindemans H, van der Horst R. History of ITS Development: From 1980s to Present Day. *International Journal of Intelligent Transportation Systems*; 2007. Preuzeto s: <https://www.tandfonline.com/> [Pristupljeno: 7. rujna 2024.]
- [11] European Commission. *C-ITS Platform: Final Report*. Brussels: European Commission; 2017. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its-platform_en [Pristupljeno: 7. rujna 2024.]

[12] Papadimitratos P, LaFortune S, Lundgren H. *Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies and Future Applications*. New York: Springer; 2010. Preuzeto s: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-1139-1> [Pristupljeno: 5. rujna 2024.]

[13] European Commission. *C-ITS: Challenges in Deployment and Implementation*. Brussels: European Commission; 2019. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en [Pristupljeno: 6. rujna 2024.]

[14] European Commission. *Shaping the Future of C-ITS: Vision for 2030 and Beyond*. Brussels: European Commission; 2020. Preuzeto s: https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en [Pristupljeno: 6. rujna 2024.]

POPIS KRATICA

C-ITS – Cooperative Intelligent Transport Systems (kooperativni inteligentni transportni sustavi)

V2V – Vehicle-to-Vehicle (komunikacija vozilo-vozilo)

V2I – Vehicle-to-Infrastructure (komunikacija vozilo-infrastruktura)

V2X – Vehicle-to-Everything (komunikacija vozilo-sa-svime)

WHO – World Health Organization (Svjetska zdravstvena organizacija)

EEA – European Environment Agency (Europska agencija za okoliš)

CO₂ – Carbon Dioxide (ugljični dioksid)

IEA – International Energy Agency (Međunarodna agencija za energiju)

USDOT – United States Department of Transportation (Ministarstvo prometa Sjedinjenih Američkih Država)

AR – Augmented Reality (proširena stvarnost)

AI – Artificial Intelligence (umjetna inteligencija)

BDP – bruto domaći proizvod

ADAS - Advanced Driver Assistance Systems (napredni sustav za pomoć vozačima)

IoT – Internet of things (internet stvari)

ABS – Anti breaking system (sustav protiv blokiranja kočnica)

5G – peta generacija mobilnih mreža

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz pametnih semafora

Slika 2. Prikaz pametne prometne mreže

Slika 3. Prikaz pametnog grada

Slika 4. Prikaz sustava koje pruža V2X komunikacija

Slika 5. Prikaz unutrašnjosti autonomnog vozila

Slika 6. Prikaz naprednog sustava za asistenciju vozaču

Slika 8. Prikaz navigacijskog sustava koji upozorava korisnike o stanju na cesti

Slika 9. Prikaz ključnih elementa i izazova za uvođenje CV (povezanih vozila)

Slika 10. Prikaz V2V komunikacije

Slika 11. Prikaz V2I komunikacije

Slika 12. Prikaz V2V, V2I I V2X komunikacije

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz projekta, opis projekta, države i godine izdavanja projekta

Tablica 2. Prikaz prometne zagušenosti u gradovima

POPIS GRAFIKONA I DIJAGRAMA

Dijagram 1. Prikaz razina važnosti razvoja C-ITS

Dijagram 2. Prikaz emisije štetnih plinova po regijama

Dijagram 3. Prikaz porasta učinkovitosti, sigurnosti i održivosti korištenjem C-ITS sustava

Grafikon 1. Prikaz uzroka prometnih nesreća (2022.)

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

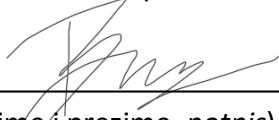
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad
(vrsta rada)

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 završnog/diplomskog rada pod naslovom Kooperativni inteligentni transportni sustavi, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 09.10.2024.

Student/ica:



(ime i prezime, potpis)