

Komunikacijska arhitektura naprednog gradskog prometnog sustava

Mandić, Antun

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:119:293052>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ANTUN MANDIĆ

**KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA NAPREDNOG
GRADSKOG PROMETNOG SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2021

Zagreb, 10. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Arhitektura inteligentnih transportnih sustava**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6228

Pristupnik: **Antun Mandić (0135246953)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Komunikacijska arhitektura naprednog gradskog prometnog sustava**

Opis zadatka:

U ovom završnom radu predstaviti će se koncept i potreba arhitekture inteligentnih transportnih sustava, te će se predstaviti i pojam komunikacijske ITS arhitekture. Na temelju primjera u EU i svijetu predstaviti će se koncept kooperativnih sustava u gradskom prometu, te će se predstaviti napredni gradski prometni sustav prema zahtjevima komunikacijske ITS arhitekture.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA NAPREDNOG
GRADSKOG PROMETNOG SUSTAVA**

**THE COMMUNICATION ARCHITECTURE OF
ADVANCED URBAN TRAFFIC SYSTEM**

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Antun Mandić

JMBAG: 0135246953

Zagreb, kolovoz 2021.

SAŽETAK

Ovaj završni rad obrađuje tematiku komunikacijske arhitekture naprednog gradskog prometnog sustava. Opisan je pojam i sama uloga ITS arhitekture, gdje su polazište korisnički zahtjevi, zbog kojih se razrađuju studije i projekti radi kompleksnosti problema. Uz korisničke zahtjeve, navedena je podjela ITS arhitekture, kao i tipovi i razine, te sama metodologija razvoja iste uz konačnu evaluaciju sustava. Nakon toga je moguće započeti sa definiranjem komunikacijske arhitekture, gdje se razlažu područja primjene te njezine komponente, te se navodi primjer arhitekture komunikacijske stanice kao i komunikacijska *ad hoc* mreža VANET. Zatim se opisuju koncepti kooperativnih sustava u gradskom prometnom sustavu, poput CVIS-a, SAFESPOT-a, COMESAFETY-a itd. Na kraju se predstavlja napredni gradski prometni sustav prema zahtjevima komunikacijske arhitekture, uz poseban naglasak na projekt VRUITS.

Ključne riječi: ITS, komunikacijska arhitektura, kooperativni sustavi

SUMMARY

This final paper deals with the topic of communication architecture of the advanced urban transport system. The concept and the role of the ITS architecture are described, where the starting point is user requirements, due to which studies and projects are developed due to the complexity of the problem. In addition to user requirements, the division of ITS architecture is stated, as well as the types and levels, and the methodology of its development with the final evaluation of the system. After that, it is possible to start defining the communication architecture, where the areas of application and its components are explained, and an example of the communication station architecture as well as the VANET *ad hoc* communication network is given. Then the concepts of cooperative systems in the urban transport system are described, such as CVIS, SAFESPOT, COMESAFETY, etc. Finally, an advanced urban transport system according to the requirements of the communication architecture is presented, with special emphasis on the VRUITS project.

Key words: ITS, communication architecture, cooperative systems

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POJAM I ULOGA ITS ARHITEKTURE	2
2.1. Korisnički zahtjevi	2
2.2. Koncept i načela „dobre“ arhitekture.....	3
2.3. Podjela ITS arhitekture	4
2.4. Tipovi ITS arhitektura.....	5
2.5. Razine ITS arhitekture	5
2.6. Koncept i metodologija razvoja ITS arhitekture.....	7
2.7. Evaluacija ITS sustava.....	8
3. DEFINICIJA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE	10
3.1. Područja primjene komunikacijske arhitekture	10
3.2. Komponente komunikacijske arhitekture	11
3.3. Arhitektura ITS komunikacijske stanice	12
3.4. Komunikacijska ad hoc mreža vozila VANET	15
4. KONCEPT KOOPERATIVNIH SUSTAVA U GRADSKOM PROMETNOM SUSTAVU	17
4.1. CVIS.....	17
4.2. SAFESPOT	19
4.3. COMESAFETY.....	20
4.4. COOPERS	20
4.5. C-THE-DIFFERENCE	21
5. NAPREDNI GRADSKI PROMETNI SUSTAV PREMA ZAHTJEVIMA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE	24
5.1. DEFINICIJA ASPEKATA KOOPERATIVNIH INTELIGENTNIH SUSTAVA	24
5.2. „IDEALNI“ GRADSKI PROMETNI SUSTAV S ASPEKTA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE	25
6. ZAKLJUČAK	28
LITERATURA	29
POPIS SLIKA.....	31
POPIS TABLICA.....	32
POPIS KRATICA	33

1. UVOD

Pojam inteligentnih transportnih sustava je relativno nepoznat većini ljudi, no činjenica je da su inteligentni transportni sustavi svakim danom sve veći dio naše svakodnevice. Predstavljaju nadgradnju klasičnog prometnog sustava i za cilj imaju poboljšanje odvijanja prometa, te poboljšanje sigurnosti i zaštite putnika. Velik je broj projekata u Europi i ostatku svijeta za uvođenje inteligentnih transportnih sustava, ali razvoj inteligentnog transportnog sustava je nemoguće kvalitetno napraviti bez primjene arhitekture inteligentnih transportnih sustava. Arhitektura predstavlja temeljnu ideju za organizaciju sustava sa svim njegovim komponentama, te odnosima i vezama između komponenti. Za razvoj ITS arhitekture, potrebno je prvo definirati zahtjeve korisnika, jer će upravo oni koristiti taj sustav. Glavna podjela ITS arhitekture je na logičku, fizičku te komunikacijsku koja je pobliže objašnjena u ovom radu.

Rad se sastoji od 6 poglavlja:

- 1) Uvod
- 2) Pojam i uloga ITS arhitekture
- 3) Definicija komunikacijske arhitekture
- 4) Koncept kooperativnih sustava u gradskom prometnom sustavu
- 5) Napredni gradski prometni sustav prema zahtjevima komunikacijske arhitekture
- 6) Zaključak

U drugoj cjelini opisuje se pojam i uloga ITS arhitekture, gdje se kreće od korisničkih zahtjeva te načela dobro razvijene arhitekture. Zatim se navodi osnovna podjela ITS arhitekture, te njezini tipovi i razine. Nakon toga, opisuje se koncept i metodologija ITS arhitekture, uz završni dio koji daje opis evaluacije sustava-

U trećoj cjelini definira se komunikacijska arhitektura, počevši s područjima primjene komunikacijske arhitekture i njezinim komponentama. Opisuje se i primjer komunikacijske stanice, kao i komunikacijska ad hoc mreža VANET..

U četvrtoj cjelini opisuju se kooperativni ITS sustavi, među kojima su CVIS, SAFESPOT, COMESAFETY, COOPERS i C-The-Difference.

U petoj cjelini nastoji se prikazati napredni gradski prometni sustav prema zahtjevima komunikacijske arhitekture, uz opis projekta VRUITS.

U šestoj cjelini donosi se konačni zaključak s mišljenjem samog autora o temi rada.

2. POJAM I ULOGA ITS ARHITEKTURE

Arhitektura nastoji definirati temeljnu organizaciju sustava koju čine ključne komponente, sa svojim međusobnim odnosima i vezama prema okolini, te također nastoji utvrditi načelni dizajn i razvoj samog sustava uzimajući u obzir njegov cijeli životni ciklus[1]. Arhitektura ITS-a predstavlja konceptualni dizajn koji za cilj ima definirati strukturu i/ili ponašanje integriranog inteligentnog transportnog sustava. ITS arhitektura predstavlja primarni zahtjev i element ITS planiranja i usklađenog razvoja ITS aplikacija, te specificira interakciju između različitih komponenti sustava u cilju rješavanja konkretnih prometnih problema. Također, ITS arhitektura daje opći predložak prema kojem se planiraju, dizajniraju i postavljaju integrirani sustavi u stvarni prometni sustav [2].

ITS arhitektura može se kreirati na nacionalnoj, gradskoj ili regionalnoj razini te se može odnositi na određene sektore ili usluge. Oni pomažu u osiguravanju da rezultirajuća implementacija ITS-a može biti planirana na logičan način, da bude uspješno integrirana s drugim sustavima te da zadovoljava željene razine izvedbe. Osim toga, određeni sektori ili usluge omogućavaju da rezultirajuća implementacija ITS-a ima željeno ponašanje, bude laka za upravljanje i produživanje, te da bude jednostavna za održavanje, uz zadovoljavanje očekivanja korisnika [3].

2.1. Korisnički zahtjevi

Korisnički zahtjevi ITS-a daju opis što sustav treba raditi, kao i ograničenja u njegovom radu. Kada se pristupa dizajniranju ITS sustava, provode se postupci pronalaženja, analiziranja, dokumentiranja i provjere funkcija i ograničenja ITS sustava. Pritom je iznimno važna identifikacija korisničkih zahtjeva, koja služi za dizajniranje i davanje ocjene samog ITS sustava. ITS sustav mora bit dizajniran na najbolji mogući način kako bi korisnički zahtjevi bili zadovoljeni[4].

Korisničke zahtjeve postavljaju dionici (engl. *stakeholders*) koje čine različite skupine ljudi ili organizacija s interesom za razvoj i implementaciju sustava ITS-a. Postoje četiri grupe dionika [4]:

- 1) **Dionici koji žele ITS.** Toj grupi dionika pripadaju lokalne vlasti i operatori infrastrukture koji trebaju ITS usluge radi rješavanja problema u prometu i transportu. U tu grupu dionika još pripadaju operateri javnog prijevoza i prijevoza tereta kojima ITS može pomoći pri učinkovitijem kretanju tereta i putnika

- 2) **Dionici koji koriste ITS.** Toj grupi pripadaju primarni i sekundarni korisnici. Primarni korisnici dobivaju informacije od izlaznih podataka sustava (putnici, turisti, poslovni korisnici, putnici s posebnim potrebama...), dok sekundarni korisnici upravljaju sustavom i osiguravaju glavne ulazne podatke (upravljački centri, žurne službe, itd.)
- 3) **Dionici koji grade ITS.** Ova grupa se sastoji od dobavljača (engl. *providers*) softverskih i hardverskih komponenti sustava ITS-a. Grupu još čine proizvođači opreme i softvera, dobavljači komunikacijskih usluga i integratori sustava.
- 4) **Dionici koji upravljaju sustavom ITS.** Ovu grupu čine državne i lokalne vlasti koje su odgovorne za uspostavljanje zakonskih regulativa koje su vezane uz upotrebu sustava ITS-a. Grupu još čine nadležna tijela i raznorazne agencije koje uspostavljaju pravni okvir i donose standarde za funkcioniranje ITS-a.

Interakcija između dionika i samog ITS sustava se obavlja putem različitih sučelja (engl. *interface*), gdje se sučelja definiraju kao modeli sustava koji prikazuju vidljivo stanje sustava, zajedno s njegovim ulazima i izlazima [4].

2.2. Koncept i načela „dobre“ arhitekture

Koncept „dobre“ arhitekture se uspoređuje s arhitektonskim dizajnom građevina gdje arhitekt vidi rješenje, tj. sustav na globalnoj razini pritom se fokusirajući na aspekte koji su ključni za zadovoljavanje korisničkih potreba te za samo okruženje. Detalji sustava nisu razrađeni, ali postoje specifikacije svih svojstava bitnih za korisnika [2].

Načela „dobre“ arhitekture [1]:

- 1) Konzistentnost
- 2) Ortogonalnost
- 3) Umjesnost
- 4) Transparentnost
- 5) Općenitost
- 6) Otvorenost
- 7) Kompletnost

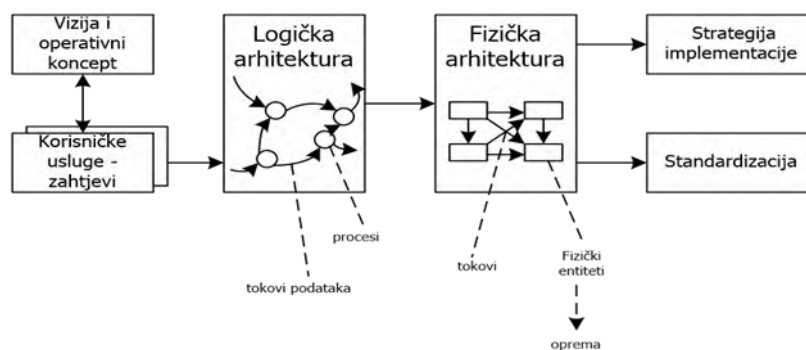
Konzistentnost predstavlja načelo arhitekture gdje je uz određeno znanje sustava moguće predvidjeti ostali dio sustava. Načelo **ortogonalnosti** predstavlja međusobno neovisne funkcije koje se drže odvojeno u specifikaciji, dok se kod načela **umjesnosti** podrazumijeva

da dobra arhitektura ne sadrži uporabne funkcije. **Transparentnost** omogućuje da su sve funkcije jasne korisnicima. Kod načela **općenitosti** funkcije se mogu višestruko koristiti, dok načelo **otvorenosti** predstavlja mogućnost drugačijeg korištenja. Na kraju, postoji i načelo **kompletnosti** koje predstavlja visoku razinu zadovoljenja korisničkih potreba uzevši u obzir zadana ograničenja [1].

2.3. Podjela ITS arhitekture

Podjela [1]:

- 1) Logička
- 2) Fizička
- 3) Komunikacijska



Slika 1. Tijek razvoja arhitekture

Izvor: [2]

Logička ITS arhitektura nastoji definirati unutarnju logiku odnosa između entiteta, a predstavljena je nazivom temeljne funkcije s informacijskim *inputima* (izvorima) i *outputima* (odredištima) [2]. Logička ITS arhitektura se temelji na specifičnim korisničkim zahtjevima te predstavlja polazište za izradu fizičke ITS arhitekture. U svrhu zadovoljavanja korisničkih zahtjeva, logička arhitektura nastoji prikazati potrebne funkcijske procese i tokove podataka, te je neovisna o tehničko-tehnološkoj implementaciji [1].

Komunikacijska ITS arhitektura definira oblike komunikacije između entiteta [1].

Fizička ITS arhitektura definira i opisuje dijelove funkcionalne arhitekture koji mogu biti povezani tako da formiraju fizičke entitete. Jedna od glavnih značajki fizičkih entiteta je pružanje jedne ili više usluga zahtijevanih od strane korisnika, te da mogu biti fizički

realizirani. Proces kreiranja fizičke arhitekture uključuje razne entitete, kao što su ceste, telematički uređaji, softver itd. Između fizičkih sustava, podsustava i modula obavlja se komunikacija putem žičnih i bežičnih medija uz definirane oblike protoka podataka. Komunikacijski aspekt može se promatrati odvojeno od fizičke arhitekture i tada se govori o komunikacijskoj arhitekturi [1].

2.4. Tipovi ITS arhitektura

Postoje tri osnovna tipa arhitektura [1]:

- 1) Tip okvirne ITS arhitekture
- 2) Tip obvezne ITS arhitekture
- 3) Tip servisne ITS arhitekture

Okvirna ITS arhitektura (engl. *framework architecture*) je fokusirana na iskazivanje korisničkih potreba i funkcionalno gledište. Najčešće se koristi na nacionalnoj razini te se može koristiti za kreiranje drugih dvaju osnovnih tipova ITS arhitektura [1].

Obvezna ITS arhitektura (engl. *mandated architecture*) uključuje fizičko, logičko i komunikacijsko gledište te ostale *outpute* poput analize troškova i koristi, analize rizika, sljedivosti itd. Sadržaj fizičke arhitekture je fiksiran i limitira opseg izvedbenih opcija [1].

Servisna ITS arhitektura (engl. *a service architecture*) slična je obveznoj arhitekturi, ali podržava pojedine usluge poput informiranja putnika, upravljanja incidentnim situacijama, elektroničkog plaćanja cestarina, itd. [1].

2.5. Razine ITS arhitekture

Projekt CONVERGE definirao je četiri razine ITS arhitekture pri čemu treba naglasiti da razina 0 nije dio arhitekture jer se odnosi na dizajn komponenata i ovisi o izabranoj tehnologiji. Ostale razine su neovisne o izabranoj tehnologiji i stabilne u smislu ITS usluga i funkcija [1].

Tablica 1. Višerazinski model za analizu ITS-a

Izvor: [1]

3	Međuorganizacijska razina
2	Razina jedne organizacije
1	Tehnolojska razina
0	Razina tehničkih komponenata

Podjela razina:

- 1) Razina 0
- 2) Razina 1
- 3) Razina 2
- 4) Razina 3

Razina 0 najčešće se odnosi na dobavljače koji za zadatak imaju razvijati pojedine komponente ili podsustave prema fiksiranim ciljevima i standardnim razvojnim procedurama. U proces su uključeni disciplinarni stručnjaci (jednog područja) te se koriste širokodostupna standardna (područno specifična) pomagala [1].

Kod **razine 1** definira se struktura sustava skupa sa relacijama između podsustava. Obično se sastoji od nekoliko posebnih arhitektura, logičke koja opisuje funkcije ITS-a, te tokove podataka između njih i glavne baze podataka. Sastoji se i od fizičke arhitekture koja opisuje grupiranja funkcija i podfunkcija u fizičke jedinice te komunikacijske veze između njih, te od komunikacijske koja opisuje tokove podataka i zahtjevne karakteristike prijenosnih medija (propusnosti itd.) [1].

Razina 2 nastoji definirati svojstva i integraciju sustava koji djeluju unutar jedne organizacije (engl. *single agency level*). Zahtijevaju se multidisciplinarna znanja te se primjenjuju različite nestandardizirane procedure. Ova razina obično je predstavljena s jednim ili više referentnih modela u kojima su identificirani glavni informacijski i upravljački tokovi [1].

Kod **razine 3** uvažavaju se realna ograničenja i djelovanja prema drugim organizacijama, te se specificira zahtijevana razina međusobnog povezivanja i interoperabilnosti, no izbor tehnologije se prepušta dizajnerima podsustava [1].

2.6. Koncept i metodologija razvoja ITS arhitekture

Postoje dva osnovna metodološka pristupa u razvoju ITS arhitekture i konkretnih ITS aplikacija [1]:

- 1) Funkcijski ili projektno orijentiran pristup
- 2) Objektno orijentiran pristup

Procesno orijentiran pristup koriste softverski inženjeri te niz drugih struka tako da je postao gotovo prirodan način analize i sinteze informacijski intenzivnih sustava. Iz ovog pristupa izveden je niz razvijenih metoda i alata koji su korišteni u pojedinim fazama životnog ciklusa sustava. U žarištu procesnog pristupa su [1]:

- 1) Definiranje (input-output) procesa
- 2) Funkcionalna (strukturna) dekompozicija
- 3) Tokovi podataka

Prednost procesno orijentiranog pristupa i razlog njegovog daljnjeg korištenja je ta što je većina standarda, uputa i tehnika postizanja sigurnosti procesno orijentirana [1].

Dinamičan razvoj **objektno orijentiranog pristupa** može se pripisati jednako dinamičnom razvoju digitalnih računala i matematičko logičkih disciplina tijekom posljednjih desetljeća. Uz dodatan razvoj distribuiranih baza podataka, grafike sučelja i sučelja prijateljskih korisniku, nije iznenađujuće što je objektno orijentirana paradigma postala dominantna. No, objektno orijentiran pristup nije idealan. Razlog je taj što je specifikacija zahtjeva prvenstveno vezana uz funkcionalno procesnu paradigmu, što objektno orijentiranoj paradigmi stvara velike probleme jer je tekstualno formulirane zahtjeve jako teško prevest u inženjerske [1].

Metodologija uspostavljanja i izgradnje arhitekture ITS-a prema američkom pristupu uključuje tri koraka [5]:

- 1) Detaljno definiranje potreba korisnika
- 2) Izgradnju logičke arhitekture
- 3) Izgradnju fizičke arhitekture

Korisnički zahtjevi klasificiraju se u individualne korisničke usluge koje tvore strukturu u nekoliko razina svrstavajući se u sustave i podsustave. Korisničke potrebe se definiraju u smislu cilja i sadržaja te kao elementi podsustava u smislu sličnih obilježja [5].

Logička arhitektura nastoji odrediti način na koji određeni proces treba biti proveden kako bi mogao izvršiti svaku uslugu. Također, logička arhitektura ima za cilj predvidjeti i opisati na koji način će se sustav nositi s poteškoćama i promjenama u okruženju[5].

Kod razvoja fizičke arhitekture jako je važno izgraditi podsustav i teorijske postavke tehnologija, a da se pritom ne ulazi u detalje tehnološkog procesa i prioritete. Krajnji cilj fizičke arhitekture je postići bržu i jeftiniju primjenu inteligentnih transportnih sustava, te tako stvoriti produkte međudjelovanja i kontinuirane usluge. Sama kvaliteta fizičke arhitekture se procjenjuje s aspekta mogućnosti njezine promjene i nadogradnje, kao i fleksibilnosti, normizacije te jednostavnosti i pristupačnosti promjene [5].

2.7. Evaluacija ITS sustava

Za davanje ocjene postojećeg ITS sustava, ili bilo kojeg sustava, potrebna je evaluacija. Evaluacija predstavlja integralni dio svakog sustavski utemeljenog razvojnog procesa.. Postoje tri tipa evaluacije [1]:

- 1) Evaluacija tijekom planiranja
- 2) Praćenje implementacije
- 3) Procjena utjecaja (engl. *impact assessment*)



Slika 2. Proces evaluacije sustava

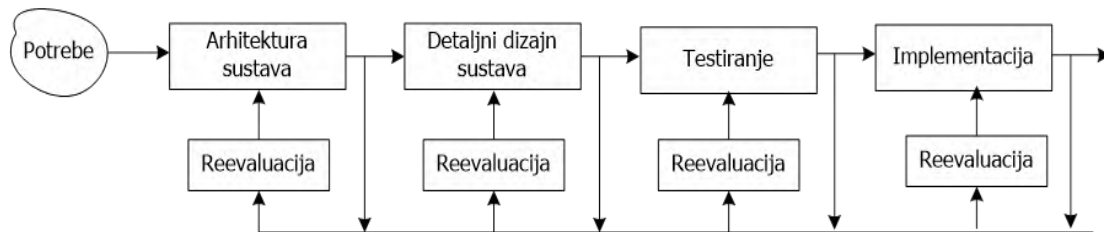
Izvor: [6]

Postoje dvije vrste evaluacije s obzirom na vrijeme dizajniranja i gradnje sustava. Prva je formativna evaluacija, ona prethodi dizajniranju i gradnji samog sustava. Druga je sumativna evaluacija, koja se provodi tek nakon provedbe projekta [1].

Evaluacija počinje u ranoj fazi planiranja kod uspostavljanja prioriteta i selekcije između konkurirajućih projekata prema raspoloživim resursima ili posebnim zahtjevima. Nakon izbora projekta počinje sustavsko praćenje implementacije (engl. *deployment tracking*). Sljedeći tip evaluacije je procjena utjecaja ITS-a na promjene relevantnih pokazatelja [1]:

- 1) Vrijeme putovanja
- 2) Broj i težina prometnih nezgoda
- 3) Povećanje udobnosti, sigurnosti i brzine tijekom putovanja itd.

Reevaluacija (slika 3.) predstavlja proces koji se događa nakon svake faze iterativnog procesa ITS sustava gdje se promatraju *outputi* te skupljaju i koriste dobivene informacije uz pomoć kojih će se sustav moći modificirati i gdje će se dobiti neki novi rezultat [1].



Slika 3. Proces razvoja kompleksnih sustava s reevaluacijom

Izvor: [2]

Kod ITS evaluacije teže je procijeniti stvarnu efektivnost investicija u ITS-u, naročito u početnom razvoju sustava, zbog čega ITS evaluacija zahtijeva drugačiji pristup u odnosu na klasične prometne projekte gdje se osim tehničkih performansi promatraju ulaganja i troškovi sustava tijekom cijelog životnog ciklusa sustava [1].

3. DEFINICIJA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE

Komunikacijska ITS arhitektura predstavlja poopćeni komunikacijski sustav dizajniran prema potrebama ITS-a [2]. Ona nastoji definirati oblik ili način na koji entiteti međusobno komuniciraju, odnosno opisati načine razmjene informacija između podsustava. Budući da komunikacijska ITS arhitektura to ostvaruje fizičkom razmjenom podataka, ona pripada fizičkoj arhitekturi [7]. Primarna svrha komunikacijske ITS arhitekture je osiguranje sredstava za prijenos i razmjenu podataka uzevši u obzir vrijeme prijenosa podataka između dva različita podsustava, troškove, kapacitet i greške pri prijenosu. Također, komunikacijska arhitektura nastoji pronaći najbolji izbor telekomunikacijskih rješenja budući da svaki izbor ima utjecaj na funkcioniranje ITS sustava što predstavlja jednu od zadaća ITS komunikacijske arhitekture[4].

3.1. Područja primjene komunikacijske arhitekture

Postoje tri osnovna područja primjene komunikacijske arhitekture [2]:

- 1) Sigurnost u prometu (engl. *traffic safety*)
- 2) Prometna učinkovitost (engl. *traffic efficiency*)
- 3) Usluge dodane vrijednosti (engl. *value added services*)

Za svako od navedenih područja definirane su klase [2]:

- 1) **Sigurnost u prometu:**
 - a. aplikacije svjesnosti i informiranja
 - b. aplikacije upozorenja
- 2) **Prometna učinkovitost:**
 - a. učinkovitost na međugradskoj razini
 - b. učinkovitost na razini gradskih sredina
- 3) **Usluge dodane vrijednosti:**
 - a. pristup lokalnim mrežama
 - b. „brzi“ pristup internetu

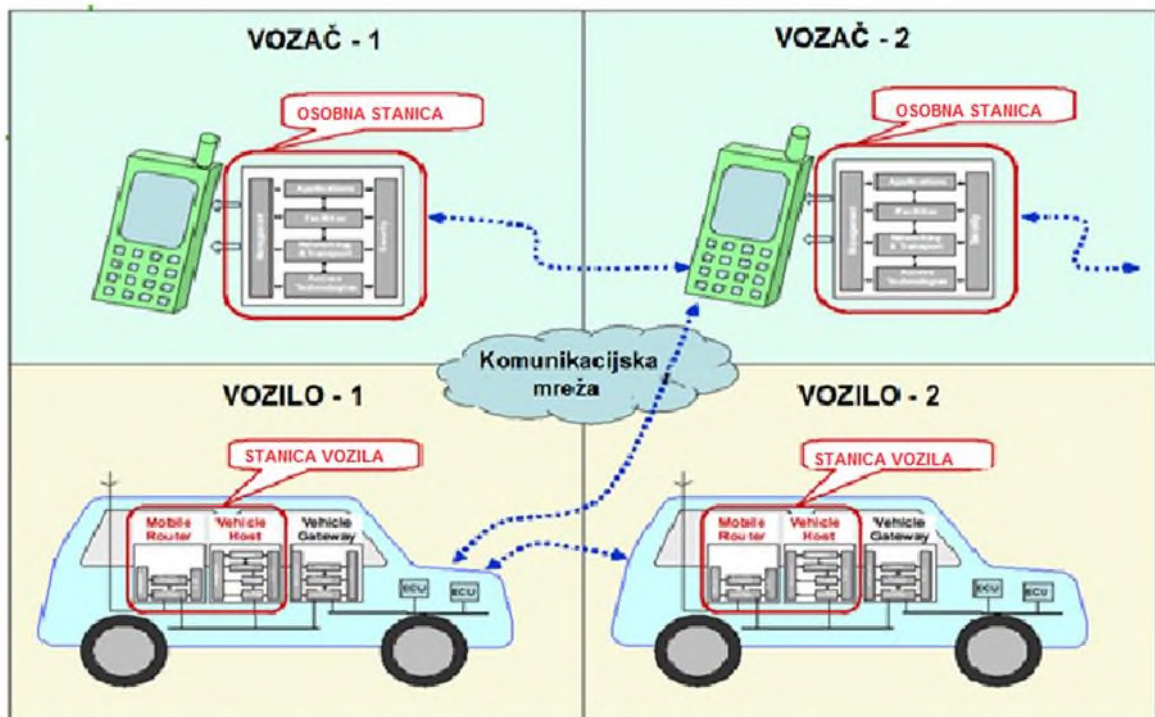
Aplikacije za sigurnost u prometu pružaju usluge poput upravljanja brzinom, otkrivanja opasnosti, upozorenja praćenja prometnog traka, kao i detekciju stanja kolnika, prometnog zagušenja i metereoloških uvjeta. Aplikacije za učinkovitost prometa će podržavati usluge

poput navigacije i rutiranja vozila, uz optimizaciju prometnog toka te upravljanje incidentnim situacijama. Aplikacije za usluge dodane vrijednosti omogućuju pružanje servisnih informacija s prometnice, te pružanje usluga informiranja i planiranja putovanja [2].

3.2. Komponente komunikacijske arhitekture

Komponente komunikacijske arhitekture su [7]:

- 1) Podsustav vozila
- 2) Podsustav uz prometnu infrastrukturu
- 3) Centralni podsustav
- 4) Mobilni podsustav



Slika 4. Komunikacijska mreža

Izvor: [2]

Podsustav vozila čine ITS stanica vozila i presretači ITS stanice. Presretači su najčešće gateway ITS stanice vozila i ruter ITS stanice, gdje je uloga gatewayja ITS stanice vozila povezati komponente korisničke mreže s unutarnjom mrežom stanice ITS-a [7].

Podsustav uz prometnu infrastrukturu sastoji se od ITS stanice uz prometnu infrastrukturu i presretača ITS stanice. Presretače ITS stanice uz prometnu infrastrukturu čine

gateway ITS stanice uz prometnu infrastrukturu, te ruter i granični ruter ITS stanice. Uloga gateway ITS stanice uz prometnu infrastrukturu je povezati komponente sustava u prometnu infrastrukturu s unutarnjom mrežom ITS stanice. Komponente sustava koje gateway nastoji povezati se nalaze u korisničkoj mreži [7].

Centralni podsustav čine centralna ITS stanica i presretači ITS stanice. Presretače ITS stanice u centralnom podsustavu čine centralni gateway ITS stanice te granični ruter ITS stanice. Uloga centralnog gatewayja ITS stanice je povezati komponente centralnog sustava s unutarnjom mrežom ITS stanice [7].

Mobilni podsustav sadrži ITS mobilnu stanicu. ITS mobilna stanica omogućava primjenu aplikacijskih i komunikacijskih funkcionalnosti ITS-a u prijenosnim uređajima. Jedni od primjera tih funkcionalnosti su mobilni telefoni ili tableti [7].

Komponente komunikacijske arhitekture međusobno su povezane komunikacijskom mrežom. Komunikacijska mreža obično se sastoji od okosnice i određenog broja rubnih i pristupnih mreža. Komunikacija se izvodi putem širokog spektra bežičnih ili žičnih komunikacijskih medija. Bilo koji broj primjeraka u svakom od podsustava može se povezati putem komunikacijske mreže. To znači da može biti što više vozila, mobilnih ručnih uređaja, cestovnih i središnjih poslužitelja po potrebi za bilo koju određenu svrhu. Dakle, arhitektura omogućuje izravne „ad-hoc“ mreže od vozila do vozila, kao i sustave temeljene na infrastrukturi ili bilo koju njihovu kombinaciju [8].

3.3. Arhitektura ITS komunikacijske stanice

Komponente komunikacijske ITS arhitekture (komponenta podsustava vozila, komponenta podsustava uz prometnu infrastrukturu, komponenta centralnog podsustava i komponenta mobilnog podsustava) posjeduju svoju vlastitu ITS stanicu [9]:

- 1) Komponenta podsustava vozila – ITS stanica vozila
- 2) Komponenta podsustava uz prometnu infrastrukturu – ITS stanica ceste
- 3) Komponenta centralnog podsustava – ITS stanica centralnog sustava
- 4) Komponenta mobilnog podsustava – ITS osobna stanica

ITS stanica vozila se nalazi u vozilu i vozilima omogućuje upotrebu ITS aplikacija. Može

biti integrirana u komunikacijsku mrežu ili biti izvedena kao zasebna mobilna komponenta koja se povremeno može povezati s mrežom. Dijelovi ITS stanice vozila su komunikacijsko-upravljačka jedinica CCU (Communication and Control Unit) koja je zadužena za komunikaciju s drugim vozilima V2V (Vehicle to Vehicle) te s komponentama cestovne infrastrukture V2I (Vehicle to Infrastructure), i aplikacijska jedinica vozila AU (Application Units) [4].

ITS stanica ceste se može opisati kao fiksirana instalacija duž ceste. Postoje dvije komunikacijske komponente ITS stanice vozila, prva je komunikacijsko-upravljačka jedinica CCU koja je odgovorna za komunikaciju s ITS stanicama vozila ili drugim ITS stanicama ceste, dok je druga jedna ili više aplikacijskih jedinica ceste AU. Aplikacijske jedinice ceste AU omogućavaju izvršavanje ITS aplikacija vezanih za opremu ceste [4].

ITS stanica centralnog sustava služi za povećanje učinkovitosti prometa te generiranje dodatne vrijednosti aplikacija i procesa u prometnom sustavu. Implementirane ITS aplikacije u ITS centralnoj stanici mogu uključivati jednu ili više aplikacijskih jedinica. Prednost ITS centralne stanice je ta što je obično povezana s internetom čime omogućava direktno pružanje informacija vozilima ili njihovo prosljeđivanje do vozila preko ITS stanica ceste [4].

ITS osobna stanica predstavlja elektronički uređaj (mobilni telefon, navigacijski uređaj) koji koristi osoba u prometu (pješač, biciklist, putnik, vozač), a može biti priključen i na ITS stanicu vozila. Ako je ITS osobna stanica povezana s vozilom, onda više nije ITS osobna stanica, nego je ITS stanica vozila. Komponente ITS osobne stanice su komunikacijsko-upravljačka jedinica CCU koja služi za uspostavljanje komunikacije s ITS sustavima te za povezivanje u ad-hoc mrežu kako bi se jednoj ili više aplikacijskih jedinica koje omogućavaju izvođenje ITS aplikacija omogućio pristup glavnoj mreži. Također, korištenjem ITS osobne stanice omogućena je komunikacija s drugim korisnicima prometnog sustava, kao i komunikacija s prometnom infrastrukturom te pristup pozadinskim aplikacijama [4].

Za omogućavanje komunikacije između različitih vrsta komunikacijskih čvorova na različitim lokacijama, bitno je da su komunikacijski sustavi ITS-a međusobno povezani. Komunikacijski čvorovi/uređaji su povezani preko širokog spektra mreža, te predstavljaju ITS komunikacijske stanice. Model na kojem se temelji arhitektura ITS stanice naziva se referentni model povezivanja otvorenih sustava OSI RM (Open Systems Interconnection

Reference Model) koji sadrži određene prilagodbe ujedinjavanja slojeva sesije, prezentacije i aplikacijskog sloja u objektni sloj [4].

Postoji šest slojeva koje definira skup protokola za ITS stanice putem ISO/OSI referentnog modela [4]:

- 1) Sloj pristupne tehnologije
- 2) Sloj mreže i transporta
- 3) Sloj objekata
- 4) Sloj aplikacija
- 5) Sloj upravljanja
- 6) Sloj sigurnosti

Sloj pristupne tehnologije čine različiti komunikacijski mediji i pripadajući protokoli za povezivanje fizičkih i podatkovnih slojeva. Unatoč tome što se većina pristupnih tehnologija temelji na bežičnim komunikacijama, pristupne tehnologije nisu ograničene na određenu vrstu medija [4].

Sloj mreže i transporta obuhvaća protokole koji služe za dostavljanje podataka svim ITS stanicama, za razmjenjivanje podataka između njih te za prenošenje podataka prema internetu i ostalim čvorovima mreže. Funkcija transportnog sloja je omogućavanje prijenosa podataka od polazne do odredišne točke uz zadovoljavanje funkcionalnih zahtjeva aplikacija. Također, jedan od glavnih ciljeva transportnog i mrežnog sloja je upotreba internet protokola (IPv4 i IPv6). Protokol IPv6 treba integrirati sa specifičnim mrežnim protokolima koji omogućuju komunikaciju između ITS stanica [4].

Sloj objekata čine funkcije koje služe kao podrška različitim aplikacijama i resursima za strukturiranje podataka, uključujući i njihovo pohranjivanje i objedinjavanje, te održavanje baze podataka. Cilj objektnog sloja je omogućiti izvršavanje različitih tipova aplikacija što ITS stanici omogućuje upravljanje različitim porukama te pružanje podrške kod održavanja i uspostavljanja komunikacijskih sesija [4].

Sloj aplikacija pruža podršku ITS korisnicima u pružanju njihovih usluga. Kada se govori o samim pojmovima ITS aplikacija, upotreba pojmova ovisi o samoj tehničkoj pozadini njihove upotrebe. Npr., kod prolaska vozila kroz raskrižje, ITS aplikacija podrške prolaska

vozila, vozaču pruža podršku kako ne bi došlo do sudara [4].

Sloj upravljanja ima odgovornost konfigurirati ITS stanicu i obavljati međusobnu razmjenu informacija između različitih slojeva [4].

Sloj sigurnosti ima za cilj omogućiti sigurnost i privatnost same usluge. U sigurnost i privatnost usluge uključena je sigurnost formata poruke u različitim slojevima komunikacijskog snopa, zatim upravljanje identitetima i sigurnosne potvrde, te različite platforme poput hardverske provjere pristupa, vatrozida itd. [4].

3.4. Komunikacijska ad hoc mreža vozila VANET

VANET (Vehicular ad-hoc network) predstavlja distribuiranu samoorganiziranu mrežu pokretnih vozila koji su opremljeni bežičnim komunikacijskim uređajima. Jedna od značajki ove mreže je što ona ima specifične zahtjeve koji se vežu za čestu promjenu topologije mreže, promjenu broja čvorova na mreži, brzinu kretanja čvorova, veličinu mreže te zahtijevanu brzinu i pouzdanost prijenosa podataka. Također, kod sigurnosnih ITS aplikacija važno je uspostaviti brzu i pouzdanu vezu kako bi bilo što manje kašnjenja u prijenosu informacija [4].

VANET mreža ima sljedeće osobine [4]:

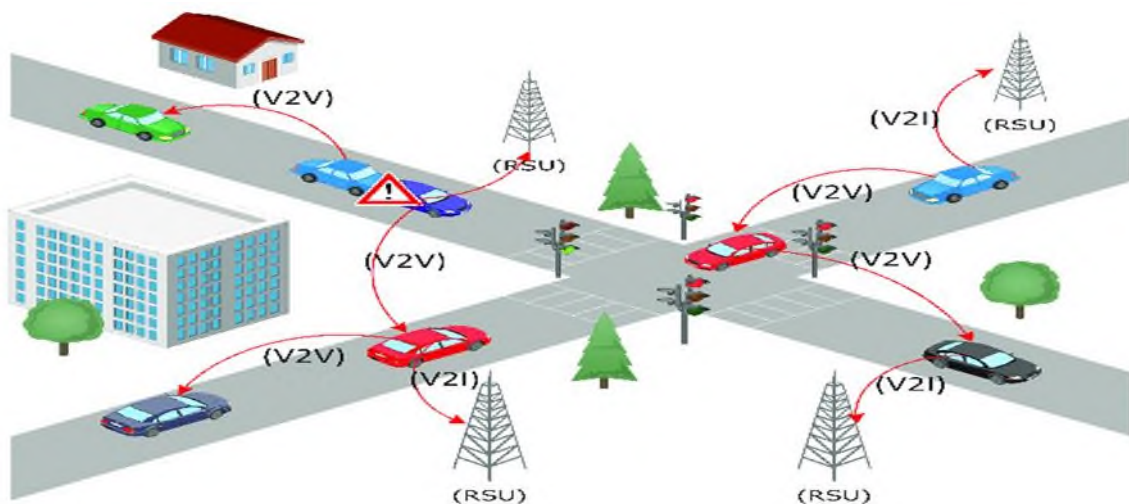
- 1) Visoka mobilnost čvorova s relativno velikim brzinama kretanja čvorova
- 2) Predvidivi načini kretanja čvorova reguliranih prometnim pravilima
- 3) Brza promjena topologije mreže zbog velike brzine čvorova, generira posebne zahtjeve u pogledu razmjene novih topologijskih informacija na mreži
- 4) Mreža nema ograničenja napajanja komunikacijskih uređaja jer vozila imaju vlastite izvore energije
- 5) Pozicioniranje čvorova na mreži osigurava upotreba GPS uređaja u vozilu
- 6) Velik broj čvorova na mreži utječe na veličinu mreže određenog područja
- 7) Ograničenja dopuštenog trajanja poruka, pri čemu poruke vezane za sigurnost moraju imati prioritet te moraju biti dostavljene na vrijeme

S obzirom na vremensku osjetljivost sigurnosnih poruka, one bi se trebale prenositi u okruženju vozila izloženih opasnošću u ograničenom vremenskom intervalu. Mogu se odašiljati periodično ili mogu biti vezane uz događaj na mreži. Sigurnosne poruke vezane uz neki događaj se generiraju kao informacije upozorenja te se šalju vozilima koja se nalaze u

zonama gdje je velik utjecaj tog događaja [4].

Najveći izazovi u kreiranju VANET mreža su [4]:

- 1) Česte promjene okruženja čvorova mreže zbog velike mobilnosti
- 2) Promjenjivo opterećenje kanala zbog promjene gustoće mreže čvorova
- 3) Smetnje pri uspostavljanju veze zbog varijacije signala u mreži
- 4) Gubitak paketa u mreži zbog različitih karakteristika terminala



Slika 5. Primjer VANET mreže

Izvor: [10]

VANET mreža predstavlja komunikacijsku tehnologiju u kojoj se vozila u kretanju koriste kao čvorovi ad hoc mreže, gdje svako vozilo putem mreže može primiti i slati poruke drugim vozilima, a vozila se međusobno povezuju na razmaku između 100 i 500 metara čime stvaraju mrežu širokog raspona. Također, ova mreža omogućava da svaki automobil djeluje kao usmjerivač ili čvor u bežičnoj mreži. Još jedna korist VANET mreže je što se može koristiti za slanje obavijesti, upozorenja te distribuciju informacija o vremenskim uvjetima, stanju na prometnicama i za razmjenu drugih informacija između vozila. Vozač uz pomoć VANET-a može dobiti podatke o stanju na kolniku, raznim opasnostima na cesti, te ostalim iznenadnim događajima i preprekama što je izuzetno važno zbog uvjeta ograničene vidljivosti u kojima se vozač nalazi. Osim toga, VANET omogućava elektroničko plaćanje cestarine, pristup internetu, upravljanje parkiralištima itd. Unatoč tome što ad hoc mreže vozila imaju dosta zajedničkih osobina s konvencionalnim ad hoc mrežama, VANET mreže imaju posebne zahtjeve koji imaju velik utjecaj na dizajniranje komunikacijskog sustava i protokola sigurnosti [4].

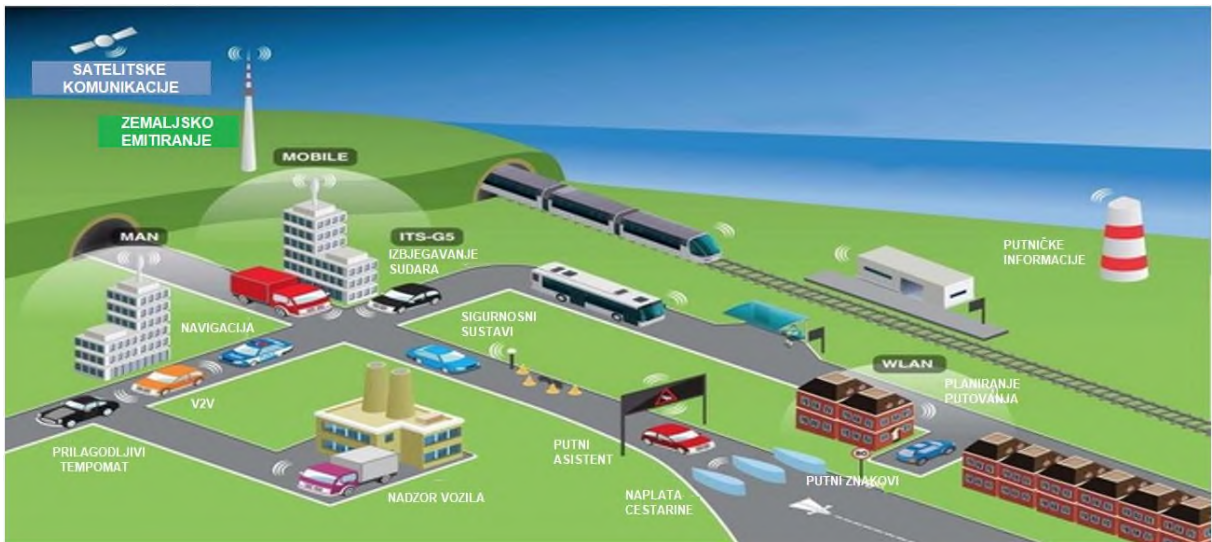
4. KONCEPT KOOPERATIVNIH SUSTAVA U GRADSKOM PROMETNOM SUSTAVU

Kooperativni inteligentni transportni sustavi mogu se opisati kao komunikacijska rješenja između vozila i vozila (V2V) te vozila i infrastrukture (V2I). Oni predstavljaju skup različitih rješenja kojima je glavni cilj povećati sigurnost u prometu. Kooperativni sustavi imaju veliku ulogu u upravljačkoj strategiji i tehnologiji za povećanje sigurnosti i učinkovitosti prometa na svim razinama, od nacionalne, preko regionalne, pa sve do lokalne [11]. Primjena kooperativnih sustava omogućuje pristup da se vozača, vozilo i infrastrukturu prometnice uzima kao jedinstven sustav, a ne odvojene entitete. Tehnologija se primjenjuje na koherentan način tako da je podržana cjelokupna integracija sustavnih dijelova, te da je olakšana migracija od podatkovno siromašnog prema podatkovno bogatijem okruženju [2].

Neke od prednosti kooperativnih sustava su povećan kapacitet cestovne prometne mreže, smanjenje zagušenja i zagađenja, kraće i „više predvidljivo“ vrijeme putovanja, te poboljšana sigurnost u prometu za sve sudionike uz niže operativne troškove vozila. Osim toga, kooperativni sustavi nude učinkovitiju logistiku, poboljšano upravljanje i nadzor cestovne mreže, učinkovitiji sustav javnog prijevoza te bolju i učinkovitiju reakciju na incidente i prometne nesreće [2].

4.1. CVIS

CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems) predstavlja razvojni projekt čiji je cilj dizajniranje, razvoj i testiranje tehnologija potrebnih za omogućavanje komunikacije između automobila te omogućavanje komunikacije automobila s obližnjom infrastrukturom uz cestu. Na temelju takvih podataka o cestama i prometu u stvarnom vremenu mogu se izraditi mnoge nove aplikacije. Posljedica će biti povećana sigurnost i učinkovitost na cestama te smanjenje utjecaja na okoliš. Ambicija projekta je započeti revoluciju u mobilnosti putnika i robe, te napraviti potpuni redizajn, kako vozača, tako i njihovih vozila, robe koju nose i prijevoza infrastruktura u interakciji [8].



Slika 6. Primjer CVIS sustava

Izvor: [12]

Pomoću CVIS-a vozači će izravno utjecati na sustav kontrole prometa i dobiti smjernice za najbrži put do odredišta. Podaci prikazani na putokazima bit će dostupni bežično i biti će prikazani na zaslonu u vozilu. Takvi zaslone također mogu upozoriti vozače na približavanje interventnih vozila, omogućujući hitnom osoblju da brže dođe do mjesta nesreće s manje opasnosti za sebe i za automobile duž puta. Na isti način, pošiljke opasne robe mogu biti stalno praćene i imati prioritet na unaprijed odabranoj sigurnoj ruti [8].

Ostale ključne inovacije uključuju visoko precizno pozicioniranje i lokalne dinamičke karte, siguran i otvoren aplikacijski okvir za pristup internetskim uslugama i sustav za prikupljanje i integriranje podataka praćenja iz vozila u pokretu te iz detektora i senzora uz cestu. Međutim, sve se to može dogoditi samo ako postoji potpuna interoperabilnost u komunikaciji između različitih proizvođača automobila te između vozila i različitih vrsta sustava uz cestu. CVIS stoga razvija komunikacijsku arhitekturu nadahnutu CALM standardom gdje IPv6 služi kao konvergencijski sloj između različitih komunikacijskih medija, uključujući stanične i bežične lokalne mreže (M5), mikrovalnu mrežu kratkog dometa ili infracrveno, za kontinuirano povezivanje vozila s cestovnom opremom i poslužiteljima, bilo pomoću IPv6-a ili brzog namjenskog komunikacijskog protokola. Projekt će se primijeniti i validirati ISO „CALM“ standardima za kontinuiranu mobilnu komunikaciju i pružit će doprinos standardima za razvoj u europskim i svjetskim tijelima za standardizaciju. Da bi se potvrdili rezultati projekta, sve CVIS tehnologije i aplikacije bit će testirane na testu stranice u 6 europskih zemalja: Francuskoj, Njemačkoj, Italiji, Nizozemskoj/Belgiji, Švedskoj i Ujedinjenom Kraljevstvu [8].

Međutim, tehnologija nije jedini kamen spoticanja na putu u stvarnost gdje su svaki automobil, svaki semafor, svaki putokaz i svaki kilometar kolnika opremljeni CVIS-om. Morat će se prevladati i niz netehničkih prepreka. CVIS stoga kreira set alata za adresiranje ključnih „omogućavatelja implementacije“ kao što su prihvaćanje korisnika, privatnost i sigurnost podataka, otvorenost i interoperabilnost sustava, rizik i odgovornost, potrebe javne politike, troškovi, koristi i poslovni modeli te planovi implementacije za provedbu [8].

4.2. SAFESPOT

SAFESPOT je integrirani istraživački projekt koji sufinancira Europska komisija za tehnologije informacijskog društva. SAFESPOT stvara dinamične mreže suradnje u kojima vozila i cestovna infrastruktura komuniciraju radi razmjene informacija prikupljenih na brodu i na cesti kako bi poboljšali percepciju vozača o okolini vozila. Jedan od ciljeva je sprječavanje prometnih nesreća putem sigurnosnog pomoćnika (engl. *safety margin assistant*) kako bi se unaprijed otkrile potencijalno opasne situacije i povećala svijest vozača o okolini u prostoru i vremenu [13].

Safety Margin Assistant predstavlja inteligentni sustav suradnje zasnovan na komunikaciji od vozila do vozila te između vozila i infrastrukture. Koristi informacije povezane sa sigurnošću koje pruža mreža pravilno spojena s ugrađenim senzorom te pruža odgovarajuće savjete ili upozorenja vozaču [8].

Tehnički razvoj uključuje aplikacije kao i ključne tehnologije koje uključuju [8]:

- 1) Komunikacija putem ad-hoc mreža čiji su čvorovi vozila i jedinice uz cestu
- 2) Točno relativno pozicioniranje
- 3) Lokalne dinamičke karte
- 4) Bežične senzorske mreže koje će se koristiti na razini infrastrukture

SAFESPOT ima podprojekt naziva BLADE (Business models, legal aspects and deployment) koji se bavi organizacijskim poslovima i organizacijskim aspektom koji je izuzetno važan za kvalitetno iskorištavanje sustava. SAFESPOT aplikacije i tehnologije se provjeravaju na ispitnim mjestima u Francuskoj, Njemačkoj, Italiji, Nizozemskoj, Španjolskoj i Švedskoj [8].

SAFESPOT je relevantna inicijativa, u obliku integriranog projekta (IP), koji sufinancira Europska komisija za informacijsko društvo, a čiji je cilj razumijevanje i procjena potencijala suradničkog pristupa u smislu poboljšanja sigurnosti cestovnog prometa. Takvu inicijativu također izravno podržava EUCAR (European Council for Automotive R&D), istraživačko udruženje proizvođača automobila. Rad pokriva neke aspekte aplikacija usmjerenih na vozilo, pokazujući posebno osobitosti i blagodati zadružnog pristupa. Također su istaknuta neka ograničenja klasičnih ADAS (Advanced driver-assistance system) aplikacija te su uspoređena s komunikacijskim pristupom V2V i V2I [14].

4.3. COMESAFETY

Projekt COMeSafety predstavlja podršku eSafety Forumu s obzirom na sva pitanja koja se postavljaju u vezi komunikacije između vozila te komunikacije između vozila i infrastrukture koja predstavlja osnovu za suradnju inteligentnih sustava cestovnog prijevoza [8].

COMeSafety pruža otvorenu integracijsku platformu za razmjenu informacija i prezentaciju rezultata koja cilja na interese svih dionika, bilo javnih ili privatnih. Također, COMeSafety aktivno podržava proces dodjele spektra za kooperativne ITS sustave s ciljem postizanja povezanosti svih projekata što predstavlja osnovni uvjet za uspjeh operacija koje osiguravaju očekivani utjecaj na sigurnost na cestama [8].

4.4. COOPERS

COOPERS (COOPerative SystEms for Intelligent Road Safety) je projekt fokusiran na razvoj inovativnih telematičkih rješenja vezanih uz prometnu infrastrukturu (inteligentne prometnice) uz dugoročan cilj, što je kooperativno upravljanje prometom [2].

COOPERS pruža vozilima i vozačima informacije o statusu prometa i statusu infrastrukture u stvarnom vremenu temeljenom na individualnoj/lokalnoj situaciji, a te informacije se distribuiraju putem posebne infrastrukture za komunikaciju vozila (I2V). Ovaj pristup proširuje koncepte autonomnih sustava vozila i komunikacije između vozila (V2V), a taktičke i strateške prometne informacije pruža operater infrastrukture u stvarnom vremenu [15].

I2V (Infrastructure to Vehicle) će u tom pogledu znatno poboljšati kontrolu i sigurnost prometa učinkovitim i pouzdanim prijenosom podataka koji su u potpunosti prilagođeni lokalnoj situaciji u vozilu (cjelini vozila). I2V će do danas uvelike proširiti odgovornost operatora infrastrukture u smislu pouzdanosti i točnosti informacija na savjete vozačima/vozilima. Najveći učinak I2V komunikacije postići će se u područjima gustog prometa, poznatim i kao područja u kojima je rizik od nesreća i prometnih gužvi izuzetno velik. Komunikacijska veza u stvarnom vremenu između infrastrukture i vozila također se može koristiti obrnuto za V2I komunikaciju koristeći vozila kao plutajuće senzore za provjeru podataka senzora infrastrukture kao izvora mjera kontrole prometa [15].

COOPERS slijedi pristup u 3 koraka za implementaciju I2V komunikacije [15]:

- 1) Poboljšati infrastrukturu senzora ceste i aplikacije za kontrolu prometa za preciznije informacije o stanju u prometu i savjete za vozače, te uspostaviti vezu između sustava naplate cestarine i koncepta I2V
- 2) Razvoj komunikacijskog aspekta i aplikacija sposobnih nositi se sa zahtjevima I2V u pogledu pouzdanosti, mogućnosti u stvarnom vremenu i robusnosti, uzimajući u obzir različite tehnologije (DAB, CALM, itd.)
- 3) Demonstrirati rezultate na važnim dionicama europskih autocesta s prometom velike gustoće u Njemačkoj, Austriji i Italiji te razviti strategije primjene za mješovito okruženje

Cilj projekta je poboljšanje sigurnosti na cestama izravnim i suvremenim prometom uz uporabu informacijske komunikacije između infrastrukture i motornih vozila na odjeljku autoceste [8].

4.5. C-THE-DIFFERENCE

Projekt C-The-Difference razrađen je na temelju zajedničke vizije koju je razvio i usvojio konzorcij partnera koji predstavljaju strane ponude i potražnje, i koji su se obvezali za 10 godina dovesti, tj. razviti kooperativni ITS sustav, tzv. C-ITS (Cooperative ITS). Ova skupina partnera snažno vjeruje u sposobnost C-ITS usluga u donošenju učinkovitih i isplativih rješenja za probleme urbane mobilnosti s obzirom na prometnu učinkovitost, sigurnost i utjecaj na okoliš [16].

Uspjeh u primjeni i dugoročno pružanje usluga C-ITS-a oslanja se na 5 zlatnih pravila kojima se treba baviti na koordiniran i integriran način [16]:

- 1) **Interoperabilnost** – zahvaljujući usvajanju međunarodnih standarda, usluge C-ITS-a u potpunosti su međusobno operativne, a kontinuitet usluga može se zajamčiti neovisno o zemljopisnom položaju, pružatelju C-ITS usluga i dobavljačima C-ITS sustava
- 2) **Održivost** – ključni akteri iz javnog i privatnog sektora koji su uključeni u lanac C-ITS usluga uključeni su u dugoročnu suradnju kako bi stvorili dodanu vrijednost svim korisnicima u njihovoj svakodnevnoj mobilnosti, razvili održive poslovne modele, podigli svijest o prednostima C-ITS-a, izgraditi europsko tržište C-ITS-a te pridonijeti gospodarskom rastu
- 3) **Skalabilnost** – scenarij uvođenja može se prilagoditi prema potrebama korisnika, urbanom prometu i politikama mobilnosti, postojećoj infrastrukturi i financijskim kapacitetima. Zahvaljujući skalabilnoj arhitekturi, implementacija može započeti s prvim paketom C-ITS usluga koji pružaju brze koristi s obzirom na prioritete urbane mobilnosti, a može se dalje razvijati u modularnom pristupu pomoću dodatnih usluga i/ili proširenog geografskog pokrivanja i/ili sve većim brojem korisnika s minimalnim dodatnim troškovima. Kombinirana uporaba komunikacijskih tehnologija G5 I 3G/4G pridonosi ubrzanju penetracije nekoliko C-ITS usluga
- 4) **Ponovljivost** – C-ITS usluge nisu ograničene na mali broj gradova koji su predvodnici. Svi gradovi mogu imati koristi od iskustva ranih usvojitelja učinkovitom razmjenom znanja kako bi se olakšalo donošenje odluka u početnom ulaganju u C-ITS te kako bi se ubrzala primjena prilagođenih C-ITS rješenja
- 5) **Pouzdanost** – gradovi se mogu oslanjati na zvučne dokaze o koristima C-ITS-a za donošenje odluka o implementaciji C-ITS usluga koje se mogu integrirati u postojeću infrastrukturu prometa i mobilnosti. Gradovi mogu ulagati u povjerenje u portfelj C-ITS usluga temeljenih na zrelim i isplativim tehnologijama, te otvorenoj i standardiziranoj arhitekturi koja omogućava pružanje visokokvalitetnih usluga i kapaciteta za integraciju novih značajki

Ciljevi C-The-Difference projekta su [16]:

- 1) Izvršiti sveobuhvatnu i integriranu procjenu učinka pomoću poboljšane metodologije procjene i do 18 mjeseci rada paketa C-ITS usluga

- 2) Premostiti jaz između najnaprednijih implementacija C-ITS-a u urbanom okruženju i velikih primjena i operacija usmjeravanjem na profesionalce odgovorne za planiranje i poslovanje gradskog prijevoza, te na donositelje politika i odluka
- 3) Uvjeriti europske gradove da ulažu u zrela i dokazana C-ITS rješenja poticanjem i repliciranjem kroz Program bratimljenja gradova

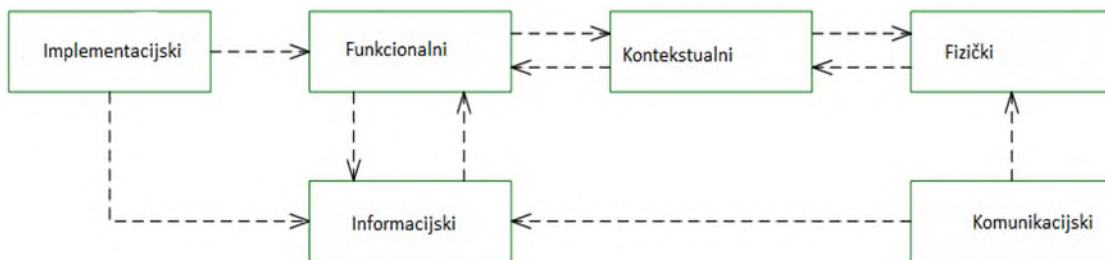
Trajanje ovog projekta je bilo dvije godine, od 2016. do 2018. Pokretač projekta je Europska unija, a uključeni gradovi su francuski Bordeaux i nizozemski Helmond [16].

Procjenjivat će se 4 kategorije utjecaja (kvantitativne i/ili kvalitativne), to su sigurnost u prometu (uglavnom kvalitativna), prometna učinkovitost, emisija štetnih plinova i poslovanje. Ciljanu publiku čine predstavnici gradova i regija koji su zaduženi za unaprjeđenje transporta i mobilnosti, te za planiranje i upravljanje prometom. Također, postoje radionice u Bordeauxu i Helmondu s demonstracijama uživo gdje predstavnici projekta imaju priliku razmijeniti znanja i informacije [17].

5. NAPREDNI GRADSKI PROMETNI SUSTAV PREMA ZAHTJEVIMA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE

Arhitekturu kooperativnih inteligentnih transportnih sustava čine sljedeći aspekti [18]:

- 1) Kontekstualni
- 2) Funkcionalni
- 3) Informacijski
- 4) Implementacijski
- 5) Fizički
- 6) Komunikacijski



Slika 7. Odnosi između aspekata C-ITS arhitekture

Izvor: [19]

Aspekti predstavljaju skup uzoraka i predložaka u svrhu konstruiranja jedne vrste pogleda na sustav [20]. Cilj je jasno definirati zahtjeve interesnih skupina [1],

5.1. DEFINICIJA ASPEKATA KOOPERATIVNIH INTELIGENTNIH SUSTAVA

Kontekstualni aspekt opisuje odnose, ovisnosti i interakcije između sustava i njegovog okruženja (ljudi, sustavi i vanjski entiteti s kojima komunicira). Pogled na arhitekturu iz kontekstualnog aspekta može pomoći dionicima u shvaćanju važnosti samog sustava [21].

Funkcionalni aspekt opisuje funkcionalne elemente izvođenja sustava, njihove odgovornosti, sučelja i primarne interakcije. Funkcionalni aspekt predstavlja svojevrstni kamen temeljac cijele arhitekture i često je prvi analiziran od strane dionika. Pokreće oblik drugih sistemskih struktura kao što su informacijska struktura, struktura udobnosti, struktura implementacije itd. Također, funkcionalni aspekt ima značajan utjecaj na svojstva kvalitete sustava kao što su njegova sposobnost promjene, sposobnost osiguranja i izvedbene performanse [21].

Informacijski aspekt opisuje način na koji sustav pohranjuje, manipulira, upravlja i distribuira informacije. Glavni cilj ovog aspekta je prikazati statičku strukturu podataka i protok informacija na kvalitetan način [21].

Implementacijski aspekt nastoji opisati arhitekturu koja podržava proces razvoja softvera. Ovaj aspekt uvelike pomaže svim dionicima uključenima u izgradnju, ispitivanje, održavanje i unaprjeđenje sustava [21].

Fizički aspekt prikazuje raspored fizičkih jedinica te komunikacijske veze među njima. Svaka od tih fizičkih jedinica ima svoju funkciju unutar sustava, gdje fizički aspekt opisuje alokaciju fizičkih jedinica koje provode te funkcije. Cilj fizičkog aspekta je svrstavanje funkcionalnosti kako bi došlo do razvoja sustava, te se pritom držati korisničkih potreba [5].

Komunikacijski aspekt opisuje način komunikacije između podsustava, te opisuje vrste komunikacijskih veza koje su potrebne u sustavu jer čine podršku kod protoka podataka. [5].

5.2. „IDEALNI“ GRADSKI PROMETNI SUSTAV S ASPEKTA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE

S novim inteligentnim transportnim sustavima, broj nesreća diljem Europske unije se znatno smanjio uglavnom zahvaljujući sigurnijoj infrastrukturi i modernoj sigurnosnoj opremi za vozila. No, za najranjivije sudionike u prometu, poput pješaka i biciklista, sklonost nesrećama je gotovo ostala nepromijenjena. Prema istraživanju kojeg je sproveo CARE (Community database on road accidents) 2009. godine, u europskim urbanim sredinama, smrtni slučajevi pješaka predstavljaju više od 35% svih smrtnih slučajeva, dok su motociklisti i vozači mopeda činili čak 16% smrtnih slučajeva, što je vrlo visoko u usporedbi s brojem motocikala u prometu [22]. Zajedno, pješaci, biciklisti, motociklisti i vozači mopeda čine 68% smrtnih slučajeva u urbanim područjima, gdje se uobičajena vrsta nesreće događa prilikom prelaska preko ceste, gdje vozači ne primijete pješake, bicikliste, motocikliste i mopediste na vrijeme [23].

Kako bi se smanjio broj takvih nesreća, osmišljen je projekt VRUITS (Vulnerable Road Users Intelligent Transport Systems), kojeg sponzorira Europska unija. VRUITS kombinira

stručnost 12 istraživačkih organizacija i industrijskih partnera iz 8 zemalja članica Europske unije, a početak projekta je bio 2013. godine [22]. Projekt VRUITS je fokusiran na “ranjive“ korisnike (pješaci, biciklisti, motociklisti itd.), te ima za cilj poboljšati sigurnost na cestama te njihovu mobilnost i udobnost integrirajući ih kao dijelove ITS aplikacija, na sličan način kao i vozila, putem suradničkih usluga V2I i I2V [24]. Projekt VRUITS dao je prioritet ITS aplikacijama koje imaju potencijal poboljšati sigurnost, mobilnost i udobnost ranjivih sudionika u prometu (VRU) te je izvršio kvantitativnu procjenu sigurnosti, mobilnosti i udobnosti za 10 najperspektivnijih sustava. Metodologija procjene ne bavi se samo izravnim učincima sustava, već i neželjenim učincima te učincima kroz promjene u obrascima mobilnosti. Deset odabranih inteligentnih transportnih sustava bili su [25]:

- 1) VRU (Vulnerable Road Users) signalni sustav
- 2) Sustav informiranja o vozilima na dva kotača
- 3) Komunikacija od bicikla do vozila
- 4) Sigurnost međusobnog presijecanja
- 5) Zeleni val za bicikliste
- 6) Otkrivanje biciklista i pješaka s kočnjem u nuždi
- 7) Otkrivanje „slijepe točke“
- 8) Inteligentna prometna signalizacija za pješake
- 9) Sustav prilagodljive rasvjete
- 10) Informacija o slobodnom mjestu za bicikliste

U projektu je bitno usvojiti metode procjene utjecaja na sigurnost u prometu. Kako bi se utvrdilo da će biti obuhvaćeni svi mogući utjecaji (i pozitivni i negativni utjecaji na sigurnost prometa, izravni i neizravni te nenamjerni učinci sustava), uz sprječavanje dupliranja učinaka, koristi se set mehanizama putem kojih ITS može utjecati na ponašanje sudionika u prometu, a time i na sigurnost na cestama. Ovi mehanizmi sustavno pokrivaju 3 aspekta cestovne sigurnosti te se ažuriraju kako bi bili više usmjereni na promjene u ponašanju ranjivih sudionika u prometu te na situacije s kojima se suočavaju u prometu. Neki od mehanizama su [25]:

- 1) Izravna modifikacija zadatka sudionika u prometu davanjem informacija, savjeta, pomoći ili preuzimanjem dijela zadatka
- 2) Izravni utjecaj sustava uz cestu, uglavnom davanjem informacija i savjeta
- 3) Izmjena izloženosti korisnika cesta informacijama, preporukama, ograničenjima, terećenjem ili povećanom udobnošću u vožnji

- 4) Izmjena odabira rute preusmjeravanjem rute, sustavi navođenja rute, dinamički informacijski sustavi za rute i sustavi za upozoravanje na opasnost koji nadgledaju incidente
- 5) Izmjena posljedica nesreće inteligentnim sustavima smanjenjem ozbiljnosti ozljeda pri padovima, te brzim i preciznim izvještavanjem o nesreći i pozivom na spašavanje uz smanjeno vrijeme spašavanja

Da bi se dodatno poboljšala točnost procjene utjecaja na sigurnost u prometu, potrebni su bolji podaci, poput podataka o nesrećama, broju i pojedinosti nesreća, uključujući bolničke zapise te ispitivanja funkcioniranja sustava i njegovog učinka na ponašanje sudionika u prometu [25].

6. ZAKLJUČAK

Kooperativni sustavi postaju sve potrebni, zbog čega je Europska unija pokrenula veliki broj projekata s ciljem razvoja i implementacije ITS arhitekture. Njihov razvoj je uvelike doprinio razvoju komunikacijske ITS arhitekture na području Europe.

Kooperativni sustavi zahtijevaju pouzdanost između komponenti sustava, koju omogućuje upravo komunikacijska ITS arhitektura, čiji se razvoj dogodio kroz razvojne i istraživačke projekte, poput CVIS-a, SAFESPOT-a, COMeSafety-a, COOPERS-a itd. Svi navedeni projekti su usmjereni na V2V i V2I sustave, jer V2V i V2I predstavljaju temeljne komunikacijske poveznice kooperativnih sustava.

Dodatnim razvojem komunikacijske arhitekture došlo je do definiranja i razvijanja raznih tehničko-tehnoloških te komunikacijskih standarda koje komunikacijska arhitektura koristi. Što se tiče komunikacijskih sustava, komunikacijska arhitektura najčešće koristi ad-hoc sustave te sustave kratkog dometa. No, glavni prioritet komunikacijske ITS arhitekture je povećanje sigurnosti u prometu, čime omogućuje dodatni razvoj i primjenu kooperativnih sustava. Konačni zaključak je da komunikacijska ITS arhitektura utječe na daljnji razvoj kooperativnih ITS sustava.

LITERATURA

- [1] Bošnjak, I., INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [2] Vujić, M.: Materijali za predavanja iz kolegija *Arhitektura inteligentnih transportnih sustava*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb akademska godina 2019./20.
- [3] <https://frame-online.eu/first-view/why-you-need-an-its-architecture> (pristup 19.7.2021.)
- [4] Ezgeta, D., INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2018.
- [5] Jolić, N., LOGISTIKA I ITS, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [6] ETSI EN 302 365 V1.1.1 2010.
- [7] Matić, M., Završni rad, EUROPSKA KOMUNIKACIJSKA ITS ARHITEKTURA, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.
- [8] COMeSafety – D31 European ITS Communication Architecture, 2009.
- [9] Ademović, A., Seminarski rad, EUROPSKA KOMUNIKACIJSKA ITS ARHITEKTURA, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Univerzitet u Sarajevu, 2017.
- [10] https://www.researchgate.net/figure/VANET-communication-architecture_fig3_330772224 (pristup 19.7.2021.)
- [11] Škorput, P.: Materijali za predavanja iz kolegija *Upravljanje incidentnim situacijama u prometu*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb akademska godina 2019./20.
- [12] https://www.researchgate.net/figure/1-Illustration-of-Cooperative-Vehicle-Infrastructure-Systems-5_fig1_344411952 (pristup 19.7.2021.)
- [13] <http://www.safespot-eu.org/> (pristup 19.7.2021.)
- [14] <https://ieeexplore.ieee.org/document/4357715> (pristup 19.7.2021.)
- [15] <https://cordis.europa.eu/project/id/026814> (pristup 19.7.2021.)
- [16] http://c-the-difference.eu/?page_id=2 (pristup 19.7.2021.)
- [17] Blervaque, V.: Beyond Traffic Jams C-ITS urban pilots, 2016.
- [18] Ferrandez, R., Dajsuren, Y., Karkhanis, P., Kardiogullari, D., Funfroeken, M., Pillado, M.: Modelling the C-ITS architectures: C-mobILE case study, 2018.
- [19] Dajsuren, Y., Karkhanis, P., Kardiogullari, D., Funfroeken, M.: Accelerating C-ITS Mobility Innovation and deployment in Europe, 2017.
- [20] Woods, E. and Rozanski, N.: OT2004 – TU1 Software Architecture Using

Viewpoints and Perspectives, 2004.

- [21] Rozanski, N. and Woods, E.: Software Systems Architecture: Working With Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives, 2011.
- [22] https://www.boep.or.at/download/553f88ae64613526f04c0000/Poster_VRUIT_S_Project_Poster.pdf (pristup 19.7.2021.)
- [23] <https://www.ltu.se/research/subjects/Arkitektur/2.54832/VRUITS-Vulnerable-Road-Users-Intelligent-Transport-Systems-1.110622?l=en> (pristup 19.7.2021.)
- [24] <https://www.sice.com/en/rd/vruits-improving-safety-and-mobility-vulnerable-road-users-through-its> (pristup 19.7.2021.)
- [25] Scholliers, J., van Noort, M., Johansson, C., Mans, D., Silla, A., Bell, D., Hancox, G., Leden, L., Giannelos, I., Bax, B., Malone, K.: Impact assessment of its applications for Vulnerable Road Users, 2016.

POPIS SLIKA

Slika 1. Tijek razvoja arhitekture	4
Slika 2. Proces evaluacije sustava	8
Slika 3. Proces razvoja kompleksnih sustava s reevaluacijom	9
Slika 4. Komunikacijska mreža.....	11
Slika 5. Primjer VANET mreže	16
Slika 6. Primjer CVIS sustava.....	18
Slika 7. Odnosi između aspekata C-ITS arhitekture	24

POPIS TABLICA

Tablica 1. Višerazinski model za analizu ITS-a.....	6
---	---

POPIS KRATICA

ITS – Inteligentni transportni *sustavi*

IPv – Internet Protocol version

ISO – International organization of Standardization

GPS – Global Positioning System

CALM – Communications access for land mobiles

DAB – Digital Auto Broadcasting



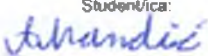
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ **završni rad**
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
reciciranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ **završnog rada**
pod naslovom **Komunikacijska arhitektura naprednog gradskog prometnog sustava**

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

U Zagrebu, 21.8.2021

Studentica:


(potpis)