Komunikacijska arhitektura gradskog prometnog sustava

Batarilo, Zvonimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:022329

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZVONIMIR BATARILO

KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA GRADSKOG PROMETNOG SUSTAVA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2020

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 8. travnja 2020.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5627

Pristupnik: **Zvonimir Batarilo (0135247828)**
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika
Smjer: Inteligentni transportni sustavi

Zadatak: **Komunikacijska arhitektura gradskog prometnog sustava**

Opis zadatka:

Kroz ovaj završni rad potrebno je opisati pojam i ulogu arhitekture ITS-a. Predstaviti i opisati komunikacijsku ITS arhitekturu. Opisati koncept kooperativnih sustava u gradskom pometnom sustavu, te prikazati "idealan" prometni sustav sa aspekta komunikacijske ITS arhitekture.

Mentor:

doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA GRADSKOG PROMETNOG SUSTAVA

COMMUNICATION ARCHITECTURE IN URBAN TRAFFIC SYSTEM

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Zvonimir Batarilo

JMBAG:01352477828

Zagreb, rujan 2020.

SAŽETAK

Glavna tema ovog rada jest komunikacijska arhitektura u gradskom prometnom sustavu. Opisuje se definicija ITS arhitekture, njene podjele i pravila koja definiraju njen razvoj kroz metodološki pristup. Nakon što se osnovna podjela izvrši, primarni fokus ostaje na komunikacijskog arhitekturi. U radu su opisani funkcionalni elementi komunikacijske arhitekture odnosno njene komponente, kao i referentna arhitektura stanice ITS-a. U daljnjem slijedu predstavljaju se neki kooperacijski ITS sustavi u gradskom prometnom sustavu. Predstavljeni su neki projekti čija zadaća uključuje razvoj kooperativnih sustava, neki od njih su CVIS i Safespot projekti, kao i VRUITS projekt koji je poslužio za primjer idealnog gradskog prometnog sustava iz komunikacijskog aspekta.

Ključne riječi: ITS, komunikacijska arhitektura, kooperacijski ITS sustavi

SUMMARY

The main theme of this final paper is communication architecture in urban traffic system. It describes the definition of ITS architecture, its breakdown and the rules that define its development through the methodology approach. After the primary breakdown is set, the primary focus stays on communication architecture. In this final paper the functional elements of the communication architecture are described, as well as the reference architecture of the ITS station. Furthermore, some cooperation ITS (C-ITS) systems are introduced concerning urban traffic systems. Those systems are introduced in a manner of projects whose purpose is development of the C-ITS systems, some of the mentioned ones include CVIS and Safespot projects, as well as VRUITS which served as an example of the ideal urban traffic system from the communication viewpoint.

KEY WORDS: ITS, communication architecture, cooperative ITS (C-ITS) systems

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. POJAM I ULOGA ITS ARHITEKTURE 3

2.1. Korisnički zahtjevi 3

2.2. Načela “dobre” arhitekture 5

2.3. Podjela arhitektura ITS-a 5

2.3.1. Funkcionalna (logička) ITS arhitektura 6

2.3.2. Fizička i komunikacijska ITS arhitektura 7

2.4. Tipovi ITS arhitekture s obzirom na obveznost i sadržaj 7

2.5. Metodologija razvoja ITS arhitekture 8

2.6. Evaluacija ITS sustava 9

3. KOMUNIKACIJSKA ITS ARHITEKTURA 11

3.1. Arhitektura ITS komunikacijske stanice 11

3.1.1. Slojevi razvoja protokola za arhitekturu ITS stanice 12

3.1.2. Komponente komunikacijskog sustava ITS-a 14

3.2. Komunikacijsko okruženje vozila 16

3.2.1. Sustav bežičnog pristupa okruženju vozila 16

3.2.2. Komunikacijska ad hoc mreža vozila VANET 18

3.2.3. Sigurnost u komunikacijskom okruženju vozila VANET 19

4. KOOPERATIVNI SUSTAVI U GRADSKOM PROMETNOM SUSTAVU 21

4.1. CVIS 22

4.2. SAFESPOT 23

4.3. C-The-Difference 25

5. PRIKAZ “IDEALNOG” PROMETNOG SUSTAVA U GRADOVIMA S ASPEKTA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE 27

5.1. Definicija aspekata kooperativne ITS arhitekture 27

5.2. Idealan prometni sustav u gradovima s aspekta komunikacijske arhitekture – VRUITS 28

6. ZAKLJUČAK 31

LITERATURA 32

POPIS SLIKA 34

1. UVOD

Prometni, transportni te komunikacijskih sustavi složeni su sustavi koji zahtijevaju upotrebu arhitekture tijekom njihovog razvoja. Osnova za razvoj svakog integriranog i kompleksnog sustava jest arhitektura inteligentnih transportnih sustava. U arhitekturi predstavljena je svaka komponenta sustava te njezin odnos s ostalim komponentama. Također, ona daje osnovnu ideju za planiranje i dizajniranje sustava. Da bi se razvila arhitektura ITS-a, potrebno je temeljito poznavanje informacijskih i komunikacijskih tehnologija. Posebni uvjeti za upotrebom ITS sustava jesu zahtjevi korisnika koji će koristiti taj sustav, oni su temelj za razvoj svake "dobre" arhitekture. Arhitektura ITS-a podijeljena je na tri tupa: okvirnu, obveznu i servisnu, a prema unutranju strukturi na: fizičku, funkcionalnu (logičku) i komunikacijsku arhitekturu, koja je i tema ovog završnog rada.

Završni rad podijeljen je u 6 poglavlja:

1. UVOD
2. Pojam i uloga ITS arhitekture
3. Komunikacijska ITS arhitektura
4. Kooperativni sustavi u gradskom prometnom sustavu
5. Prikaz "idealnog" prometnog sustava u gradovima s aspekta komunikacijske arhitekture
6. Zaključak

Drugo poglavlje predstavlja ITS arhitekturu, njen pojam i ulogu. Opisano je od čega se sastoji i koje su njene podjele, kao i metodologija razvoja arhitekture te njena evaluacija nakon implementacije.

U trećem poglavlju opisana je komunikacijska ITS arhitektura. Opisuju se njene komponente koje se sastoji od komunikacijskih ITS stanica i način njihovog rada, te komunikacijsko okruženje u kojem se nalazi.

Četvrto poglavlje definira kooperativne sustave u gradskom prometnom sustavu. Kooperativni sustavi definirani su u obliku europskih projekata koje je sufinancirala Europska unija radi daljnjeg razvoja kooperativnih sustava u europskim gradovima.

U petom poglavlju opisuje se idealan prikaz gradskog prometnog sustava iz aspekta komunikacijske arhitekture. Prikaz je predstavljen na osnovu još jednog europskog projekta koji se naziva VRUITS.

Šesto poglavlje jest zaključak koji uzima u obzir cjelokupni rad i donosi konačno mišljenje autora o temi završnog rada.

2. POJAM I ULOGA ITS ARHITEKTURE

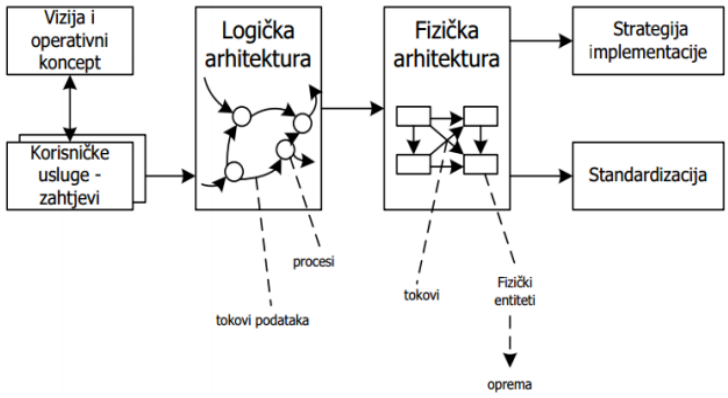
ITS arhitektura definira ponašanje i strukturu ITS sustava u obliku konceptualnog okvira. Ona opisuje strukturna svojstva sustava i utvrđuje načela dizajniranja i samog razvoja sustava uzimajući u obzir njegov cjelokupni životni ciklus [1]. Arhitektura ITS-a podrazumijeva organizacijsko, tehničko, pravno i poslovno gledište na sustav [2]. Arhitektura, također, specificira odnose odnosno interakciju između različitih komponenti sustava s ciljem da se riješe konkretni prometni problem te nudi opći predložak prema kojem se planiraju, dizajniraju i implementiraju integrirani sustavi u realni, trenutni prometni sustav [3].

Arhitektura ITS-a primjenjuje se u transportnim, prometnim, komunikacijskim sustavima zbog njihove složenosti, radi kojih je nužno promatrati takve sustave iz više aspekata, te se stoga primjenjuje arhitektura kao opći okvir za učinkoviti dizajn istaknutih sustava. Takav opći okvir omogućava [2]:

- Planiranje sustava,
- Integraciju ITS-a s drugim sustavima,
- Prikaz željenih performansi sustava,
- Željeno ponašanje sustava ITS-a kroz funkcije upravljanja,
- Jednostavno održavanje i proširivanje sustava,
- Otkrivanje i opis zahtjeva korisnika.

2.1. Korisnički zahtjevi

Pri razvoju ITS arhitekture (Slika 1.), prvi korak konkretno definira korisničke zahtjeve koji prethode daljnjem proučavanju i istraživanju funkcionalnih aspekata kojim se definiraju funkcije koje su potrebe za izvršavanje tih istih korisničkih zahtjeva [4]. Korisnički zahtjevi predstavljaju kratki opis traženih karakteristika sustava ITS-a tako da usmjeravaju ili pak ograničavaju razvoj tog istog sustava.



Slika 1. Tijek razvoja ITS arhitekture.
Izvor: [5].

Korisničke zahtjeve postavljaju dionici (*engl. Stakeholders)* koje čine različite skupine pojedinaca ili organizacija (institucija) koja su direktno ili indirektno pokazala interes za razvojem i implementacijom sustava ITS-a. Očekivanja dionika predstavljaju formalizirani opis usluga koje moraju biti pružene pri razvoju novog sustava. Postoje četiri osnovne grupe dionika sustava ITS-a [1]:

- **Dionici koji žele ITS.** Grupu čine lokalne vlasti i operatori infrastrukture koji trebaju ITS usluge radi rješavanja postojećih problema u prometu i transportu. Također, ona uključuje i operatere javnog prijevoza i operatere prijevoza tereta kojima ITS može pomoći pri učinkovitijem kretanju tereta i putnika.
- **Dionici koji koriste ITS.** Grupa uključuje primarne i sekundarne korisnike. Primarni korisnici imaju dobivaju informacije od izlaznih podataka sustava (putnici, poslovni korisnici, turisti, putnici s posebnim potrebama…). Dok sekundarni upravljaju sustavom i osiguravaju glavne ulazne podatke (operatori prometne mreže, upravljački centri, žurne službe…)
- **Dionici koji grade ITS.** Grupa se sastoji od dobavljača (engl. *Providera)* softverskih i hardverskih komponenti sustava ITS-a. Grupu čine proizvođači opreme i softvera, dobavljači komunikacijskih usluga i integratori sustava.
- **Dionici koji upravljaju sustavom ITS-**a. Grupu čine lokalne i državne vlasti koje su odgovorne za uspostavljanje zakonskih regulative koje su vezane za upotrebu sustava

ITS-a. Dodatno k tome, grupu čine i nadležna tijela i raznorazne agencije koji uspostavljaju pravni okvir i donose standarde za funkcioniranje ITS-a.

2.2. Načela "dobre" arhitekture

Svaki koncept arhitekture čini dizajn elemenata koji zajedno čine cjelinu, koja predstavlja rješenja postavljenog problema, uzimajući u obzir sva gledišta samih korisnika i njihovih okruženja kako bi se specificirala ona najbolja gledišta i potrebe korisnika. To se radi tako što se pridržava osnovnih načela ITS arhitekture koji obilježavaju "dobru" arhitekturu [1]:

1. Konzistentnost – uz djelomično znanje sustava moguće je predvidjeti ostatak sustava
2. Ortogonalnost – međusobno neovisne funkcije trebaju biti odvojene u specifikaciji
3. Transparentnost – funkcije su jasne korisnicima
4. Općenitost – funkcije se mogu višestruko koristiti
5. Kompletnost – visoka razina zadovoljenja potreba korisnika uz zadana ograničenja
6. Umjesnost – dobra arhitektura ne sadrži uporabne funkcije
7. Otvorenost – mogućnost drugačijeg korištenja

Osim toga, arhitektura ITS-a se treba pridržavati i drugih tehnoloških i tehničkih aspekta koja su povezana nekim organizacijskim, pravnim i poslovnim okvirima, uzimajući u obzir i ekonomska ograničenja [6].

2.3. Podjela arhitektura ITS-a

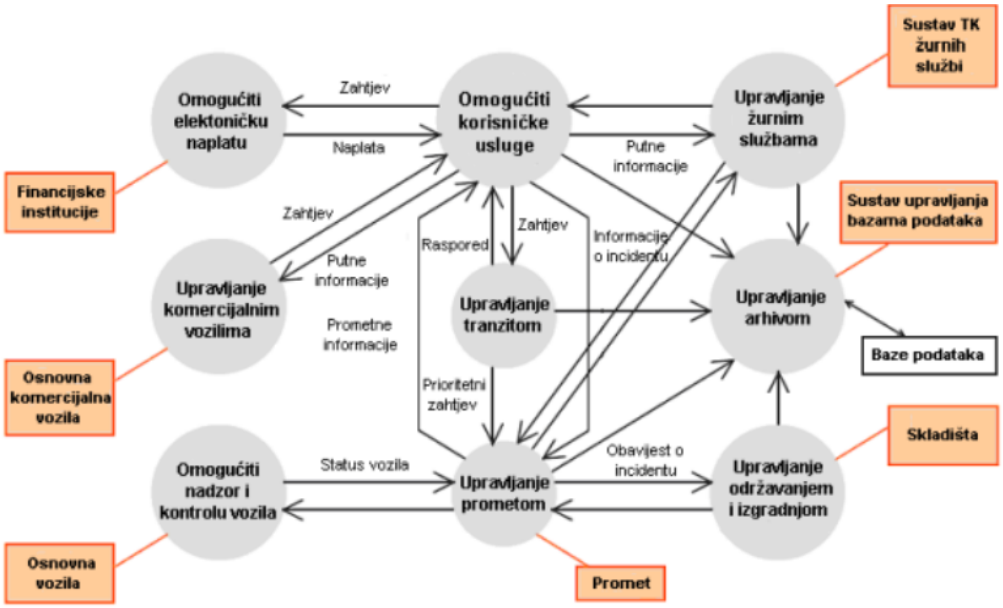
Arhitektura se razlikuje po sljedećim tipovima prema ulozi i njenom kontekstu [2]:

- Funkcionalna (logička) arhitektura
- Fizička arhitektura
- Komunikacijska arhitektura

ITS arhitektura pruža uvid svih interakcija u ITS sustavu, uključujući interakcije njegovih podsustava i komponenti te već navedena načela njihovog planiranja, dizajniranja i implementacije tijekom njegovog cijelog životnog ciklusa.

2.3.1. Funkcionalna (logička) ITS arhitektura

Funkcionalna (logička) ITS arhitektura utvrđuje logiku svih odnosa i interakcija među pojedinim entitetima i predstavlja se nazivom temeljnih funkcija s informacijskim izvorištima (engl. *Input*) i odredištima (engl.*Output*). Funkcionalna ITS arhitektura također se naziva i logička arhitektura jer prikazuje gledišta funkcionalnosti koja su nužna za zadovoljavanje korisničkih zahtjeva i ostalih dionika [2]. Logička arhitektura se izvodi iz precizno navedenih korisničkih zahtjeva te primarno služi pri izradi fizičke arhitekture (Slika 2.).



Slika 2. Primjer logičke arhitekture

Izvor: [1]

Logička arhitektura služi za opis tokova podataka među funkcijama, elemenata funkcija i samih spremišta podataka. Svi tokovi podataka sadrže slovne oznake kojim se označava funkcionalno područje u kojima se nalaze, terminatori koji ih povezuju ili sama funkcionalna područja koja povezuju. Neovisna je o opremi, tj. tehničko-tehnološkoj implementaciji i svrha joj je definiranje fizičke arhitekture [1].

2.3.2. Fizička i komunikacijska ITS arhitektura

Fizička ITS arhitektura predstavlja fizički model ITS-a čija je svrha opisivanje fizičkih podsustava ITS-a i grupiranje funkcija u tehničke modele. Tehnički modeli dizajnirani su s ciljem da udovolje korisničkim zahtjevima davajući prikaze komunikacijskog povezivanja među tehničkim uređajima [2]. Fizička arhitektura pruža definiciju i opis dijelova funkcionalne arhitekture koji se povezuju u fizičke entitete. Ti fizički entiteti mogu pružiti usluge, koje su tražene korisničkim zahtjevima, u obliku fizičke realizacije. Samim tim, to je primarna svrha fizičke ITS arhitekture. Također, ona prikazuje gdje se glavni funkcijski procesi smještaju i gdje se nalaze ITS sučelja (veze) između glavnih komponenti sustava. Za komunikaciju takvih komponenti koriste se žične ili bežične mreže [1].

Komunikacijska arhitekura pripada fizičkom modelu ITS-a tj. dio je fizičke ITS arhitekture. Komunikacijska ITS arhitektura prikazuje načine komunikacije među fizičkim entitetima, odnosno definira načine kojim se informacije razmjenjuju među različitim komponentama sustava, a to je moguće fizičkom razmjenom podataka što je čini dijelom fizičke arhitekture. Ova arhitektura obrađuje se u nastavku završnog rada.

2.4. Tipovi ITS arhitekture s obzirom na obveznost i sadržaj

S obzirom na postojeće ITS arhitekture u svijetu, mogu se utvrditi 3 osnovna tipa arhitekture s obzirom na sadržaj i obveznost:

- Okvirna ITS arhitektura (engl. *Framework architecture*)
- Obvezna ITS arhitektura (engl. *Mandated architecture*)
- Servisna ITS arhitektura (engl. *A service architecture)*

Okvirna ITS arhitektura temelji se na iskazivanju potreba svih korisnika i uspostavljanju funkcionalnog gledišta. Ona se sastoji od skupa svih korisničkih zahtjeva i logičke ITS arhitekture, a ne sadrži fizičku ITS arhitekturu. Služi kao mehanizam pri osiguravanju razvoja kompatibilnih i interoperabilnih servisa ITS-a. Okvirnu ITS arhitekturu dizajniraju i stvaraju nacionalne ili regionalne organizacije. Ona se koristi kao prvi korak odnosno polazna točka pri kreiranju obvezne i servisne ITS arhitekture na nacionalnoj i regionalnoj razini u jednoj državi [2].

Obvezna ITS arhitektura čini fizičko, logičko i komunikacijsko gledište odnosno aspect te ostala odredišta poput analite troškova i koristi, sljedivost, analiza rizika [1]. Obvezna ITS arhitektura dobila je naziv po obveznim korisnicima i organizacijama koje sudjeluju u razvoju, implementaciji i uporabi ITS sustava. Ona uključuje: korisničke zahtjeve, fizičko, komunikacijsko i funkcionalno gledište. Kao i okvirna, može se koristiti pri kreaciji državne, regionalne ili lokalne ITS arhitekture. Dodatno k tome, može se koristiti pri stvaranju servisnih ITS arhitektura za regiju ili urbano područje [2].

Servisna ITS arhitektura po mnogo čemu sliči obveznoj ITS arhitekturi, međutim ona podržava samo pojedine ITS usluge. Pri stvaranju servisne ITS arhitekture, polazna točka može biti obvezna ITS arhitektura ili okvirna ITS arhitektura. Servisna ITS arhitektura sastoji se od samo jednog podskupa ITS korisničkih zahtjeva, definiranih funkcija, fizičkog i komunikacijskog gledišta te drugih odredišta (cost/benefit analiza, analiza rizika…). Ona služi pri razvijanju posebnih ITS servisa u nekom specificiranom geografskom području te može poslužiti kao polazna točka pri kreiranju komponenti infrastrukture koji zahtijevaju funkcionalnosti servisa ITS-a [2].

2.5. Metodologija razvoja ITS arhitekture

Metodologija razvoja ITS arhitekture mora biti transparentna kako bi je razumjeli dizajneri sustava, dionici u svim fazama razvoja i implementacije ITS-a. Razlikujemo dva osnovna metodološka pristupa, a to su [1]:

- Funkcijski ili procesno orijentirani pristup
- Objektno orijentirani pristup

Funkcijski ili procesno orijentirani pristup postaje norma odnosno standard za utvrđivanje načina za analize i sinteze informacijskih intenzivnih sustava. U međuvremenu, objektno orijentirani pristup pojavljuje se malo kasnije razvojem matematičko-logičkih disciplina i digitalnih računala.

Procesno orijentirani pristup, s obzirom na postojanje dugi niz godina, razvija velik broj metoda i alata koji služe u različitim fazama životnog ciklusa. Prednosti ovog pristupa jesu definiranje (input-output) procesa, tokovi podataka i funkcionalna dekompozicija [1].

Objektno orijentirani pristup djeluje na sličan način, samo što on koristi drukčije tipove podataka. Razvojem distribuiranih baza podataka, grafika sučelja i onih koji su pogodni korisnicima, veću popularnost stječe objektno orijentirani pristup. Međutim, postoji problem pri upotrebi jer se neki korisnički zahtjevi ne mogu pretvoriti iz tekstualnih u inžinjerske zahtjeve. Taj problem rješava se tako što se pronalaze drugi načini odnosno slučajevi koji mogu djelomično ignorirati dijelove zahtjeva koji se ne mogu izraziti navedenim pristupom [1].

2.6. Evaluacija ITS sustava

Ukoliko se želi ocijeniti postojeći ITS sustav i opravdati buduća ulaganja u isti, koristi se evaluacija (Slika 3.). Svaki pristup evaluaciji pravilno se strukturira kako bi se izvršilo vrednovanje koje neće opravdati određeno ITS rješenje problema nego omogućiti najbolji mogući izbor rješenja. Imamo tri osnovna tipa evaluacije [1]:

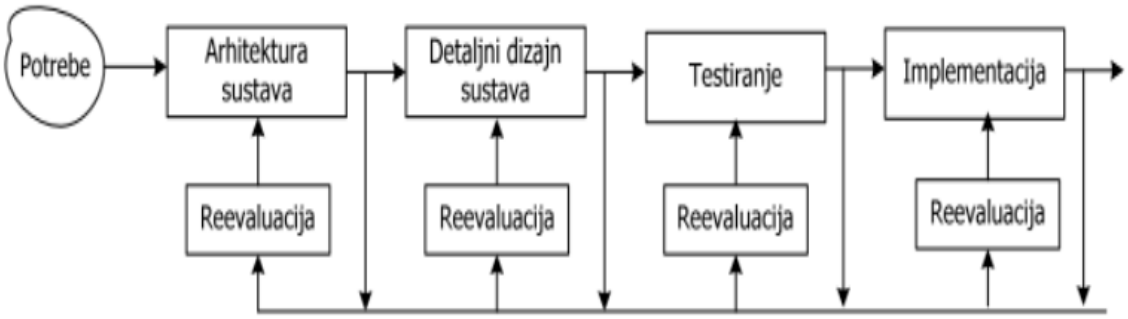
- Evaluacija prije implementacija: na osnovu razine ulaganja bira se najbolje ITS rješenje koje će ispuniti korisničke zahtjeve
- Evaluacija nakon implementacije: služi da bi se procijenio rad ITS sustava nakon njegove instalacije
- Procjena utjecaja (engl. *Impact Assessment*): mjeri negativne i pozitivne utjecaje na implementirani ITS sustav



Slika 3. Proces evaluacije sustava

Izvor: [7]

Svaki razvoj kompleksnog ITS sustava, koji prolazi kroz iterativni proces, ima reevaluaciju (Slika 4.). Reevaluacija se događa nakon svake faze iterativnog procesa pri čemu se dobivene informacije mogu upotrijebiti za modifikaciju sustava odnosno daju rezultat procesa [1].



Slika 4. Proces razvoja kompleksnih sustava s reevaluacijom

Izvor: [1]

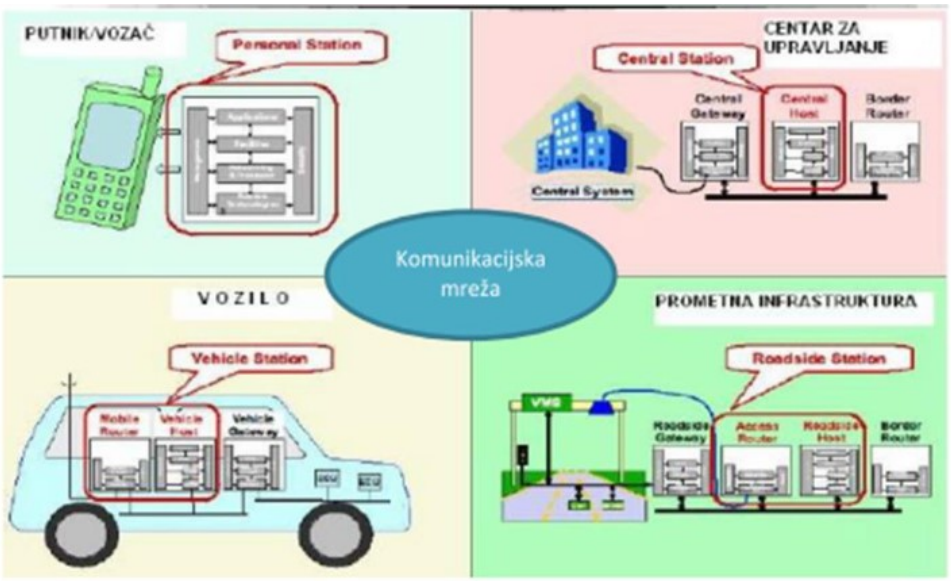
Pri evaluaciji ITS sustava, osim tehničkog izvođenja koje se podrazumijeva, potrebno je tijekom cijelog procesa pratiti i investicije i troškove sustava putem složenih analiza učinkovitosti na kojim se temelji održivi razvoj prometnog sustava [1].

3. KOMUNIKACIJSKA ITS ARHITEKTURA

Komunikacijska ITS arhitektura definira i opisuje sustave telekomunikacije koji razmjenjuju informacije odnosno podatke s različitim podsustavima ITS-a. Također, utvrđuje sredstva koja provode fizičke tokove podataka. Primarna svrha komunikacijske ITS arhitekture jest osiguranje sredstava za prijenos i razmjenu podataka uzimajući u obzir troškove, vrijeme prijenosa podataka između dva različita podsustava, kapacitet i greške pri prijenosu. Dodatno k tome, komunikacijska arhitektura pronalazi najbolji izbor telekomunikacijskih rješenja jer svaki izbor ima specifičan utjecaj na funkcioniranje ITS sustava i bitno je izabrati onaj koji najviše zadovoljava postavljene korisničke zahtjeve [2].

3.1. Arhitektura ITS komunikacijske stanice

Komunikacijska ITS arhitektura može se podijeliti u 4 osnovne komponente koje su fizički odvojene, dok svaka komponenta ima vlastitu ITS stanicu (Slika 5.). Povezane su komunikacijskom mrežom (bežično ili žično), a svaka sadrži temeljnu mrežu (engl. *Backbone*) i određeni broj rubnih ili pristupnih mreža.



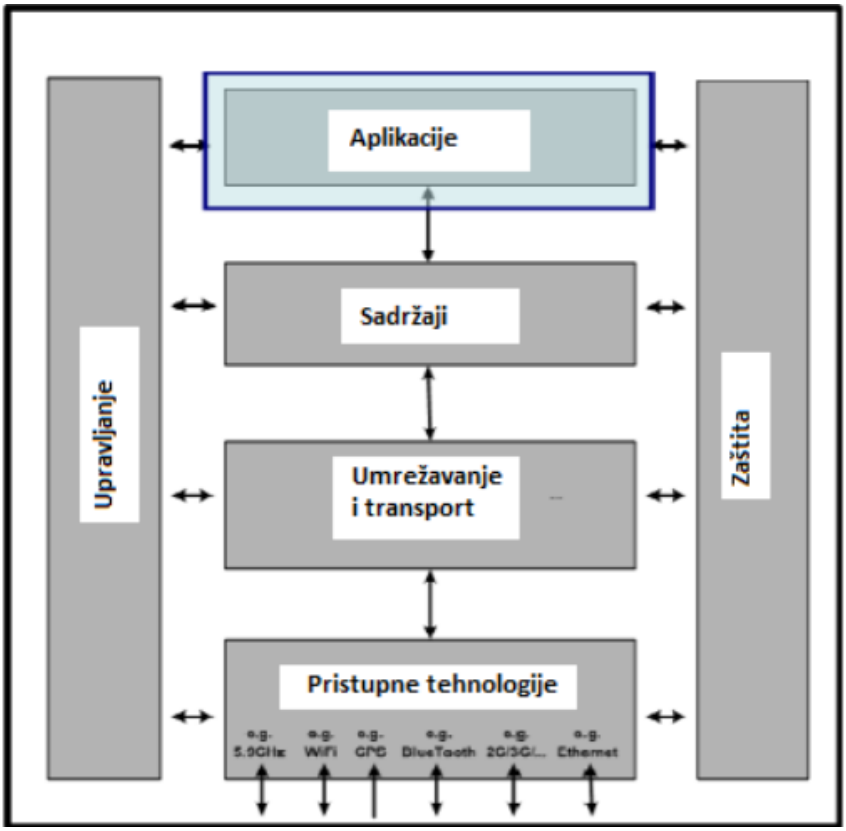
Slika 5. Prikaz komunikacijske mreže

Izvor: [8]

Komunikacijki sustavi ITS-a moraju biti povezani kako bi osigurali razmjenu informacija između servisa i aplikacija na različitim platformama. To se postiže preko komunikacijskih čvorova odnosno uređaja koji se povezuju preko širokog spektra mreža.

3.1.1. Slojevi razvoja protokola za arhitekturu ITS stanice

Arhitektura ITS stanice zasniva se na referentnom modelu povezivanja otvorenih sustava OSI RM (engl. *Open Systems Interconnection Reference Model*). Referentnim modelom (Slika 6.). definira se i skup protokola za ITS stanice preko četiri horizontalna i dva vertikalna sloja [10].



Slika 6. Arhitektura ITS komunikacijske stanice

Izvor: [9]

Sloj pristupne tehnologije pokriva komunikacijske medije i pripadajuće protokole koji povezuju fizičke i podatkovne slojeve. Takve pristupne tehnologije nisu ograničene samo na jedan tip medija s obzirom da se većina takvih tehnologija zasniva na bežičnim komunikacijama [2].

Sloj za umrežavanje i transport pokriva protokole koji dostavljaju podatke svim ITS stanicama, razmjenjuje podatke među njima te prenosi podatke na internet i druge čvorove mreže. ITS mrežni protokoli distribuiraju informacije odnosno podatke od točke A do točke B, dok transportni protokoli osiguravaju da prijenos podataka zadovoljava funkcionalne zahtjeve. Jedan od posebnih ciljeva ovog sloja jest korištenje internet protokola (IPv4 i IPv6), čime se integrira IPv6 protokol s posebnim mrežnim protokolima kojim komuniciraju ITS stanice [2].

Sloj sadržaja predstavlja funkcije koje služe kao potpora raznoraznim aplikacijama koje strukturiraju i pohranjuju podatke, spajaju i održavaju baze podataka. Prednosti koje donosi upravljanje aplikacijama uključuju pružanje potpore pri uspostavi i održavanju razmjene različitih poruka, te pronalazak i preuzimanje aplikacijskih usluga u ITS servisima koje omogućuju kvalitetnije upravljanje u ITS stanicama [2].

Sloj aplikacija, u osnovi, služi kao podrška uslugama ITS korisnika. Svaka aplikacija djeluje na specifičan način ovisno o programiranju. Kao primjer može se uzeti aplikacija koja nudi podršku pri prijelazu vozila kroz raskrižje tako da vozač dobiva upute kojim bi izbjegao sudar na raskrižju. ITS aplikacije za sigurnost pokrivaju usluge upravljanja brzinom vozila, održavanja pravca vožnje, upozorenja u slučaju opasnosti kao što su sudari s drugim vozilom, upozorenja u slučaju pogrešnog smjera vožnje itd [2].

Osim horizontalnih postoje i 2 vertikalna sloja u protokolu ITS stanice. To su sloj upravljanja i sloj sigurnosti. Sloj upravljanja temelji se na održavanju konfiguracije ITS stanice i razmjenu informacije među drugim slojevima. Sloj sigurnosti održava sigurnost i privatnost usluge korisnicima kao što su zaštita na podacima, upravljanje identitetima i davanje dozvola pristupa informacijama [2].

3.1.2. Komponente komunikacijskog sustava ITS-a

Komunikacijska ITS arhitektura čine 4 osnovne komponente [11]:

1. ITS komunikacijska stanica vozila
2. ITS komunikacijska stanica ceste
3. ITS komunikacijska stanica centralnog sustava
4. ITS personalna komunikacijska stanica

ITS komunikacijska stanica vozila nalazi u samim vozilima i njena svrha jest omogućavanje vozilima korištenje ITS aplikacija. Može biti integrirana u komunikacijskoj mreži, a može se izvesti u obliku zasebne mobilne komponente koja se povremeno povezuje s mrežom. ITS stanicu vozila čini komunikacijsko-upravljačka jedinica CCU (engl. *Communication and Control Unit*) i aplikacijske jedinice vozila AU (engl. *Application unit*). CCU zadužen je za komunikaciju s drugim vozilima V2V (engl. *Vehicle to Vehicle*) s komponentama koje čine cestovnu infrastrukturu V2I (engl. *Vehicle to Infrastructure*), te može povezivati vozila i na internet po potrebi. Aplikacijske jedinice AU služe za korištenje različitih ITS aplikacija. S obzirom na to, ITS stanice vozila surađuju s drugim ITS aplikacijama i time razvijaju razmjenu informacija s vozilima i komponentama cestovne infrastrukture [2]. Da bi se osigurao provod specifičnih ITS aplikacija u vozilu potreban je pristup "infrastrukturi" vozila (senzori vozila, elektronička kontrolna jedinica ECU (engl. *Electronic Control Unit*)) [12].

ITS komunikacijska stanica ceste jest fiksirana instalacija na cesti odnosno prometnoj infrastrukturi koja se može sastojati od dvije komunikacijske komponente [2]:

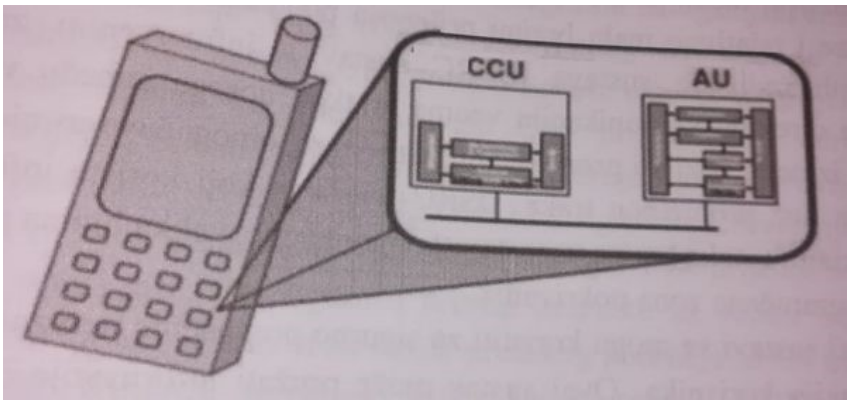
- CCU koji je odgovoran za komuniciranje s ITS stanicama vozila ili drugim ITS stanicama ceste
- Jedne ili više aplikacijskih jedinica koje izvršavaju ITS aplikacije vezane za opremu ceste

ITS stanica ceste se, putem cestovnog poveznika, povezuje sa senzorima na cesti ili nekim drugim jedinicama kao što su svjetlosni signali ili znakovi s promjenljivim porukama VMS (engl. *Variable Message Sign*) [12]. Na taj način ITS aplikacije u vozilu prenose informacije samom vozilu koristeći VMS čime omogućavaju praktično i dinamično adaptiranje na scenarij u kojem se vozilo nalazi. Da bi se ITS cestovna infrastruktura povezala na internet,

koristi se granični ruter koji povezuje ITS stanicu ceste s glavnom mrežom. Kad se poveže na internet, osigurava se dostupnost razmjeni informacija među drugim ITS stanicama ceste kao i s centrima za upravljanje prometom [12].

ITS komunikacijska stanica centralnog sustava upotrebljava se za generiranje dodanih vrijednosti ITS aplikacija i drugih različitih procesa u prometnom sustavu čime znatno povećava učinkovitost samog prometa. Svaka ITS aplikacija unutar ITS centralne stanice uključuje jednu ili više aplikacijskih jedinica AU. ITS centralna stanica obično je povezana s internetom čime se izuzetno olakšava kontakt i razmjena informacija s vozilima i ITS stanicama ceste [12]. Djeluje na način da se poveže s centralnim poveznikom vlastite ITS stanice.

ITS personalna komunikacijska stanica (Slika 7.) predstavlja elektronički uređaj (mobilni telefon, navigacijski uređaj) koji koristi svaka osoba individualno (pješak, putnik, biciklist, vozač), te može biti povezan i s ITS stanicom vozila. Ako je povezana s vozilom onda to više nije ITS personalna stanica nego ITS stanica vozila.



Slika 7. ITS personalna komunikacijska stanica
Izvor: [12]

ITS personalna stanica komunicira s drugim korisnicima u prometnom sustavu, sa prometnom infrastrukturom (signalizacija na semaforu za osobe koje su slabovidne) te omogućava pristup pozadinskim aplikacijama.

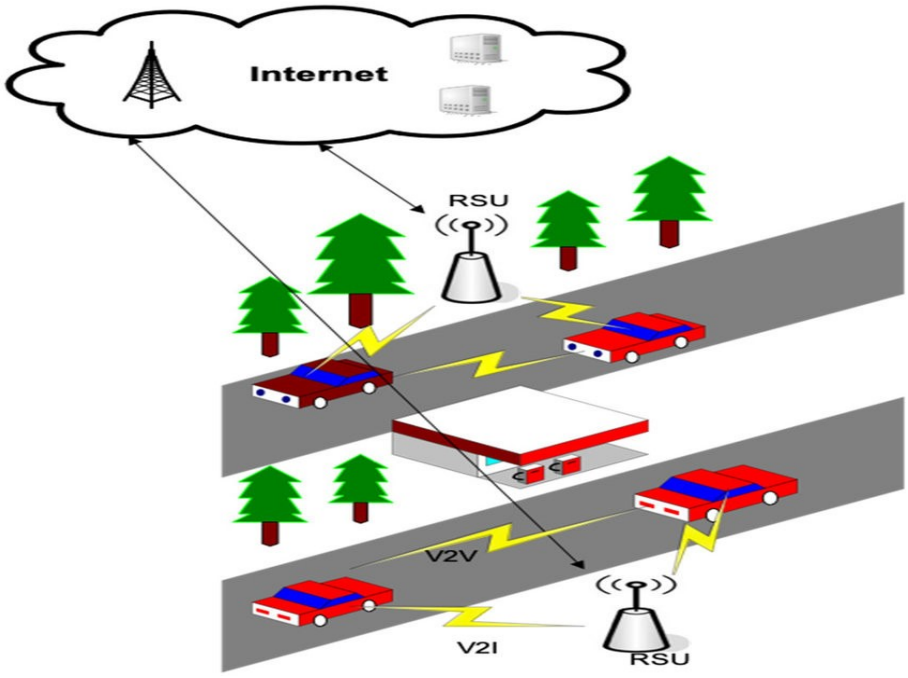
3.2. Komunikacijsko okruženje vozila

Temelj svake komunikacije između vozila i infrastrukture predstavlja model komunikacije cestovnih vozila s obzirom na opremljenost svakog vozila pojedinačno. Takav model osigurava razinu povezanosti vozila u prometnom sustavu. Ukoliko je udaljenost između dva vozila veća, mogućnost kao i kvaliteta komunikacije opada, no ukoliko je veći broj vozila u prometnom toku ta mogućnost komunikacije raste. Također, Model nudi procjenu kvalitete prijenosa informacija uzimajući u obzir stanje prometa, postotak opremljenih vozila za komunikaciju i samu razinu komunikacije među njima [2].

3.2.1. Sustav bežičnog pristupa okruženju vozila

Sustav bežičnog pristupa okruženju vozila WAVE (engl. *Wireless Access in Vehicular Environments*) opisuje komunikacijski model za DSRC (engl. *Dedicated Small Reach Communications*) komponente. Ovaj komunikacijski model sastoji se od upravljačkih struktura, sigurnosnih mehanizama i fizičke kontrole pristupa bežičnom komunikacijskom okruženju vozila. Bežična ad hoc mreža, koja omogućava komunikaciju između vozila i prometne infrastrukture, naziva se VANET (engl. *Vehicular ad hoc Network)* mreža. WAVE je dizajniran na način da omogući pristup VANET mreži vozilima, putem DSRC-a, koristeći kriterije koji će smanjiti vrijeme transfera podataka (Slika 8.). Zahtjevi koje traži WAVE sustav su [2]:

- Komunikacija u mobilnom okruženju,
- Jedinstven model ad hoc mreže,
- Visoka točnost primljene jačine signala,
- Opcija za teža radna okruženja,
- Upravljanje snagom signala,
- Upravljenje prioritetima slanja poruka.



Slika 8. DSRC arhitektura

Izvor: [13]

WAVE sustav podrazumijeva instalaciju komunikacijskih jedinica prometnice RSU (engl. *Roadside Unit)* uz prometnice i instalaciju komunikacijskih jedinica vozila OBU (engl. *Onboard Unit)* unutar samog vozila. Sve komunikacijske jedinice rade samostalno i razmjenjuju podatke preko fiksnih radio kanala CCH (engl. *Control Channel)*. Također, ove jedinice mogu se organizirati u male mreže skupova koji čine ili samo OBU jedinice ili miješanu verziju RSU i OBU jedinica [2].

Wave sustav mora imati u obziru korisničke zahtjeve [2]:

- Funkcioniranje na udaljenosti do 1000 metara
- Veliki broj putova u mreži
- Višestruko preklapanje ad hoc mreže s visokom razinom usluge
- Zadovoljiti specifične potrebe aplikacija vozila
- Posebna vrsta okruženja radio emitiranja

Najveći izazovi, s kojim se WAVE sustav nosi, jesu visoka mobilnost i složeno mrežno okruženje koje čine širokopojasni V2V i V2I kanali.

3.2.2. Komunikacijska ad hoc mreža vozila VANET

VANET definira samoorganiziranu mrežu vozila u pokretu koja su opremljena uređajima za bežičnu komunikaciju. Takva mreža ima posebne zahtjeve koji podrazumijevaju ažurnost pri čestoj promjeni topologije mreže, promjeni broja čvorova i njihovoj brzini kretanja na mreži čija veličina može varirati, također se ogleda u zahtijevanoj brzini i pouzdanosti prijenosa podataka. Dodatno k tome, sve ITS sigurnosne aplikacije podrazumijevaju brzo i pouzdano povezivanje uz što manje kašnjenje za vrijeme prijenosa podataka [2].

VANET mreža ima sljedeće osobine [2]:

- Visoka mobilnost čvorova s relativno velikim brzinama kretanja čvorova,
- Predvidivi načini kretanja čvorova reguliranih prometnim pravilima,
- Brza promjena topologije mreže zbog velike brzine čvorova
- Mreža nema ograničenja napajanja komunikacijskih uređaja jer vozila imaju vlastite izvore energije,
- Pozicioniranje čvorova na mreži se može osigrati upotrebom GPS uređaja u vozilu,
- Veliki broj čvorova na mreži utječe na veličinu mreže određenog područja,
- Ograničenja dopuštenog kašnjenja poruka, pri čemu poruke vezane za sigurnost moraju imati prioritet i moraju biti dostavljene na vrijeme.

S obzirom da su sigurnosne poruke vremenski osjetljive, njihov prijenos bi se trebao odvijati tijekom neke opasnosti u kojoj su vozila izložena. One se generiraju kao informacije upozorenja na cesti svim vozilima ukoliko se dogodilo nešto izvanredno što vozači ne očekuju. Mogu poslužiti i kao rutinske poruke u obliku preventivnog značenja vozačima da kontroliraju brzinu i smjer kretanja. VANET omogućava da se ne dogodi zagušenje na mreži i sprječava ponavljanje istih poruka [2].

VANET mreža koristi vozila kao čvorove ad hoc mreže tako da svako vozilo može razmjenjivati poruke s drugim vozilima pri udaljenosti od 100 do 500 metara šireći tako raspon mreže. Vozila izlaze iz mreže ukoliko izađu iz raspona signala, a druga vozila, koja ulaze u raspon, pridružuju se mreži i mogu komunicirati s vozilima koja su također opremljena bežičnim komunikacijskim uređajima. Svako vozilo unutar mreže ima mogućnost saznati informacije vezane za stanje na kolniku, opasnosti na cesti, ali može platiti i cestarinu elektronički, platiti parking kao i imati pristup internet [2].

3.2.3. Sigurnost u komunikacijskom okruženju vozila VANET

Sigurnost VANET okruženja esencijalni je faktor pri funkcioniranju u izvanrednim prometnim okolnostima. Temeljna svrha sigurnosti VANET okruženja jest onemogućavanje zlonamjernog pristupa informacijama u VANET okruženju, iz razloga što se te informacije mogu modificirati kao i unijeti netočne informacije koje mogu nanijeti štetu vozačima unutar mreže. Sustav je odgovoran za svakog vozača i mora biti u mogućnosti zaštititi njegovu privatnost. Takvi zlouporabni napadi uključuju [2]:

- Odbijanje pružanja servisa,
- Pružanje lažnih informacija,
- Pružanje pogrešnih informacija o lokaciji,
- Pružanje lažnih obavijesti o identifikaciji vozila,
- Lažno predstavljanje.

Ogroman problem, koji prijeti pouzdanosti sustava u VANET mreži, jest što autentičan korisnik mreže može izvršiti napad na vjedostojnost podataka. Napad može rezultirati nakupljanjem umjetno generiranih poslanih poruka čvorovima mreže koji se ne mogu na vrijeme filtrirati i time opterećuju komunikacijske jedinice vozila i prometnica.

Vozilo šalje lažnu informaciju o prometnoj nesreći, kako bi druga vozila mogla promijeniti vlastitu rutu vožnje, s ciljem da svoju dionicu puta oslobodi ili barem smanji razinu zagušenja na njoj. Čvorovi koji čine vozila u prometu, mogu odbiti povezivanje nakon uspostavljanja mreže što će rezultirati prekidom prosljeđivanja poruka odnosno informacija [2].

Stoga, VANET sustav mora imati imperativ da osigura pouzdanost i sigurnu distribuciju slanja, prosljeđivanja i zaprimanja poruka između korisnika. Zaštita privatnosti lokacije korisnika i održavanje njegove anonimnosti predstavljaju faktore od velikog značaja za zaštitu korisnika. Podaci o lokaciji podrazumijevaju podatke o točnoj lokaciji vozila kao i njegovom vremenu polaska s točke odredišta. Anonimnost se može postići protekcijom osobnih podataka s čime će omogućiti svakom korisniku da se ne razlikuje od drugog korisnika mreže. Provjera autentičnosti korisnika može se izvršiti preko osobnog digitalnog potpisa koji će doprinijeti povećanju sigurnosti VANET mreže. Drugi način provjere autentičnosti može se pronaći u primjeni javnih ključeva za infrastrukturu PIK (engl. *Public Key Infrastrucure)* koje će imati svako vozilo uz jedan privatni ključ koji će činiti par s javnim. Upotrebom privatnog ključa, vozilo će dobiti pristup slanju poruka putem VANET mreže, a te odaslane poruke bit će nadzirane putem uređaja koje će imati svako vozilo [2].

Vremenski učinkoviti način provjere autentičnosti provodi se tako da se ključ, koji je iskorišten prije distribuiranja poruke, nakon određenog vremena ne može više koristiti. Vozilo ili ITS stanica ceste provjerava odakle je poruka došla i koji je ključ upotrijebljen kako bi se utvrdila autentičnost poruke.

4. KOOPERATIVNI SUSTAVI U GRADSKOM PROMETNOM SUSTAVU

Arhitektura ITS-a trenutno je u prijelaznoj fazi s obzirom na kontinuirani utjecaj na razvoj arhitekture za kooperativne sustave. U isto vrijeme događaju se revolucionarne funkcionalnosti u razvoju mobilnih uređaja koji u svakom trenutku mogu zasjeniti kompleksni razvoj nove arhitekture. Kao odgovor na to, u suradnji s ISO (engl. *International Organisation for Standardisation)* i drugim dionicima, razvija se potpuna definicija kooperativnog inteligentnog transportnog sustava [14]: "Kooperativni ITS jest podskup sveopćeg ITS-a koji komunicira i dijeli informacije među ITS stanicama s ciljem da savjetuje i poduzme akcije koje će doprinijeti sigurnosti, održivosti, učinkovitosti i udobnosti iznad mogućnosti samostalnih sustava."

Prednosti kooperativnih sustava [3]:

1. Povećan kapacitet cestovne prometne mreže
2. Smanjuje zagušenja i zagađenja
3. Kraće i "više predvidljivo" vrijeme putovanja
4. Poboljšana sigurnost u prometu za sve sudionike
5. Niži operativni troškovi vozila
6. Učinkovitija logistika
7. Poboljšano upravljanje i nadzor cestovne mreže (urbane i međugradske)
8. Povećana učinkovitost sustava javnog prijevoza
9. Bolja i učinkovitija reakcija na incidente i prometne nesreće

Zadnjih desetak godina, Europska komisija stavlja naglasak na razvoj projekata koji se tiču kooperativnih sustava. Temeljna misao zadržava se na razvoju V2V i V2I komunikacija koje će doprinijeti cestovnoj sigurnosti, zaštiti sustava i općenito boljem razumijevanju kooperativnog djelovanja. Broj projekata raste svake godine, a neki od njih su: CVIS (engl. *Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*), SAFESPOT, C-The-Difference.

4.1. CVIS

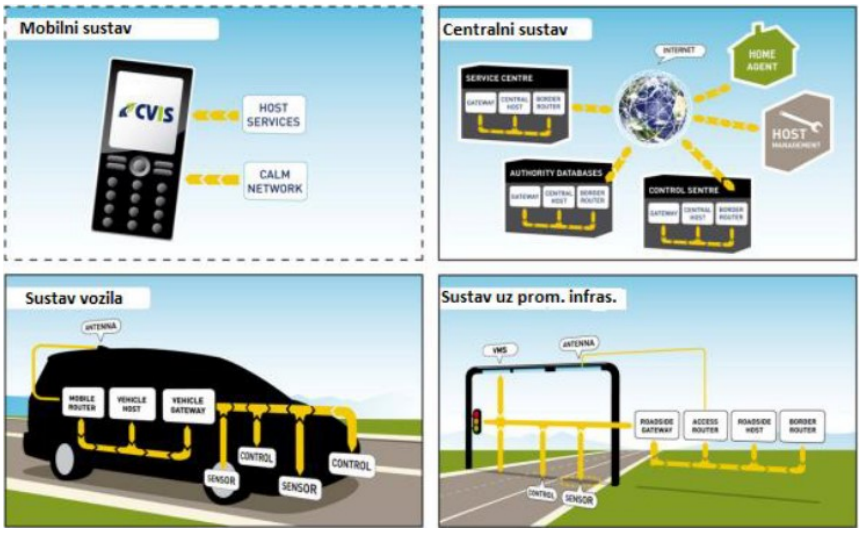
CVIS je projekt koji se bacio V2V i V2I komunikacijom i suradnjom, odnosno razvijao je načine tj. tehnologije koje bi omogućavale ili poboljšavale takve vrste komunikacije. Također, projekt je aktivno djelovao oko povećanja razine interoperabilnosti između vozila i infrastrukture jer bi se s tim omogućio i veći utjecaj vozača na prometni sustav. No, osnova ovog projekt bila je razvoj bežične mreže između vozila i infrastrukture kako bi se povećala efikasnost i sigurnost na kolnicima.

CVIS arhitektura podijeljena je u 3 podsustava [15]:

- Podsustav vozila,
- Podsustav ceste,
- Centralni podsustav

CVIS arhitektura ne naglašava isključivo podsustav ceste kao što većina projekata radi. Povezanost između podsustava vozila i podsustava ceste radi se preko zračne veze, a povezanost podsustava ceste i centralnog podsustava izražen je preko IPv6 protokola putem interneta [14]. IPv6 pogodan je jer podržava mobilne mreže, a na čemu se temelji sva kooperacija između vozila, infrastrukture i centralnog sustava (Slika 9.).

Međusobnom povezanosti svih komponenata u CVIS arhitekturi može se ponuditi širok raspon funkcionalnosti kao što su razmjena informacija, pružanje potpore za vrijeme putovanja i tijekom vožnje.



Slika 9. CVIS arhitektura

Izvor: [16]

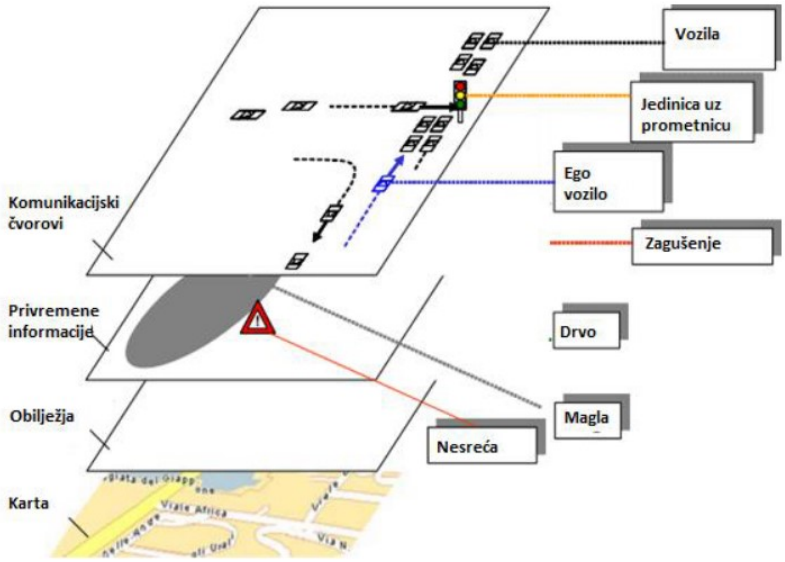
U CVIS arhitekturi nema neke posebne hijerarhije, stoga svaki entitet može međusobno komunicirati, slati i primati informacije. Razliku čini samo konfiguracija i instalacija antena na pojedinom entitetu. Rezultat toga jest pouzdan sustav koji je fleksibilan i dostupan pri rješavanju novih zahtjeva.

4.2. SAFESPOT

SAFESPOT je projekt kojeg je sufinancirala Europska komisija, počeo je 2006. godine i trajao je 4 godine. Primarni cilj projekta bio je pronalazak svih mogućih načina u kojim vozila i prometnice mogu kooperirati radi povećanja cestovne sigurnosti. SAFESPOT sustav imao je zadaću razviti aplikaciju koja bi unaprijed otkrila problematične situacije tako što bi s mreže prikupljala informacije i raspolagala istim u slučaju informiranja vozača u vozilu o incidentu na putu. Ideja dalje slijedi tok misli vozača koji će svjesno usporiti brzinu na vrijeme kako bi se smanjio eventualno broj prometnih incidenata. Osnova SAFESPOT kooperativnog sustava jest komunikacija na V2V i V2I razini putem ad hoc mreže [16].

SAFESPOT arhitektura koristi VANET mrežu. Čini ju set čvorova odnosno vozila i infrastruktura koji razmjenjuju informacije bežičnom komunikacijom kratkog dometa DSRC [17]. Svaki čvor skuplja podatke putem vlastitih senzora ili putem drugih čvorova. Ukoliko čvor

dobije informaciju koja je zabrinjavajuća, ima mogućnost proslijediti je kao upozorenje drugim čvorovima. Sve informacije odnosno podaci generiraju se u lokalnoj dinamičnoj mapi LDM (engl. *Local Dynamic Map)*(Slika 10.) koja služi kao baza podataka i neprestano se osvježava da spriječi zastaru informacija.



Slika 10. Lokalna dinamična mapa

Izvor: [18].

Cijeli kooperativni sustav temelji svoje aplikacije na podacima koji se nalaze u LDM-u. Za integraciju aplikacija koristi se okvir kojeg čine dio aplikacije koji generira poruke i dio koji koordinira samu aplikaciju. Svaka aplikacija mora biti u mogućnosti izaći u susret svakoj situaciji i izvanrednoj okolnosti na cesti.

Aplikacije u sustavu SAFESPOT mogu se podijeliti na nižu i višu razinu inteligencije. Niža inteligencija temelji se na V2I-I2V komunikaciji te takve aplikacije pokrivaju samo određena područja gdje je postotak vjerojatnosti nesreće veći. Aplikacije više inteligencije odnose se na V2V komunikaciju jer pokrivaju vozila koja su neprestano u pokretu i nisu vezani samo za jedno specifično područje.

4.3. C-The-Difference

C-The-Difference projekt predstavljen je kao zahjednička vizija koju je razvio i prisvojio konzorcij partnera koji želi kroz ulaganja i trud zadnjih 10 godina razviti kooperativni ITS sustav i usluge koje on nudi na svijetu tržišta. Takva organizacija čvrsto vjeruje u kapacitet usluga kooperativnog ITS-a da može donijeti učinkovita rješenja problema gradske mobilnosti uzimajući u obzir i parametre kao što su prometna efikasnost, sigurnost i utjecaj na okoliš [19].

Upsjeh pri implementaciji i razvoju usluga C-ITS-a ovisi o 5 zlatnih pravila koja se moraju kronološki predstaviti [19]:

- **Interoperabilnost,** zahvaljujući prisvajanju međunarodnih standarda, C-ITS usluge su potpuno interoperabilne i kontinuitet usluga može biti zajamčen neovisno o geografskoj lokaciji, provajderu usluga i dobavljaču C-ITS opreme.
- **Održivost,** ključni akteri iz javnog i privatnog sektora uključeni su u suradnju jedno s drugim, s ciljem pružanja dodatnih usluga svim korisnicima, razvijanja pouzdanih poslovnih modela, podizanja svijesti o koristima C-ITS sustava kao i doprinošenja ekonomskom rastu projekta.
- **Skalabilnost,** scenarij raspoređivanja može se mijenjati ovisno o potrebama korisnika, gradskom prijevozu i pravilima kretanja, postojećoj infrastrukturi i financijskom kapacitetu. Zahvaljujući skalabilnoj arhitekturi, implementacija može započeti sa prvim paketom C-ITS usluga koje brzo donose koristi uzimajući u obzir prioritete gradskog prometnog sustava.
- **Ponovljivost,** C-ITS usluge nisu ograničene na mali broj najrazvijenijih gradova u svijetu. Svi gradovi mogu izvući korist ukoliko rano prisvoje metode skupljanja iskustva i znanja potrebnog za donošenje odluka koje će dodatno investirati u C-ITS rješenja.
- **Pouzdanost,** gradovi se mogu pouzdati u jasne dokaze koje C-ITS nudi da se njegove usluge mogu implementirati u već postojeću transportnu i pokretnu prometnu infrastrukturu grada. Gradovi mogu ulagati u punom pouzdanju u portfolio C-ITS usluga koje se zasnivaju na zrelom razvoju i učinkovitom djelovanju njegovih tehnologija, te kapacitetu za integraciju novih karakteristika.

Ciljevi C-The-Difference kooperacijskog sustava jesu [19]:

1. Dostaviti razumljivu i integriranu procjenu utjecaja, razvijenom metodologijom, paketa C-ITS usluga već do 18 mjeseci.
2. Implementirati najrazvijeniji C-ITS sustav uz pomoć profesionalno izučenih ljudi koji prihvaćaju odgovornost za planiranje operacija u gradskom prometnom sustavu.
3. Uvjeriti europske gradove da ulože u već dokazana C-ITS rješenja koja se mogu replicirati iz drugih gradova.
4. Razviti aplikaciju koja će dopustiti vozaču prilagođavanje brzine i smjera ovisno o infrastrukturi koja se može promijeniti na nekim mjestima u gradskom prometnom sustavu.
5. Prioritet zelenog svjetla za prolaz vozila većeg prioriteta. Za razliku od starijeg projekta kao što je Compass4D, moguće je zatražiti prioritet za poseban smjer skretanja. Ovo poboljšava učinkovitost prioritiziranim vozilima uzimajući u obzir ostala vozila.
6. Naglašeno upozorenje vozila žurne službe s indikacijama željenog smjera u kojem ide.

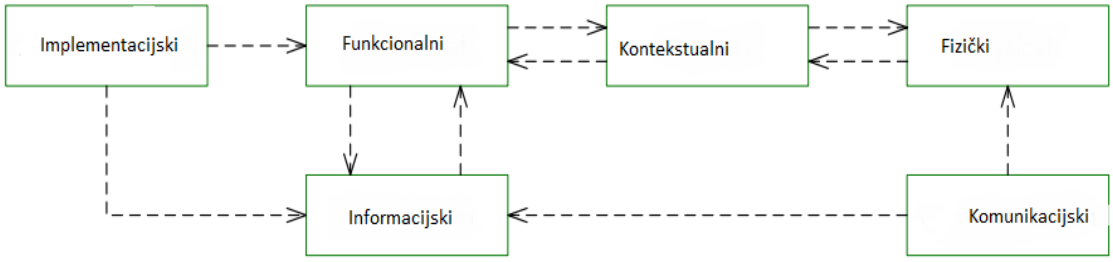
Period djelovanja ovog projekta je 2 godine, 2016.-2018. Konzorcij partnera koji je financirao ovaj projekt uključuje i Europsku komisiju, grad Bordeaux u Francuskoj i grad Helmond u Nizozemskoj [20].

5. PRIKAZ "IDEALNOG" PROMETNOG SUSTAVA U GRADOVIMA S ASPEKTA KOMUNIKACIJSKE ARHITEKTURE

Postoji 6 temeljnih aspekata koji su dio okvirne arhitekture kooperativnog ITS sustava [21]:

- Kontekstualni aspekt,
- Funkcionalni aspekt,
- Informacijski aspekt,
- Implementacijski aspekt,
- Fizički aspekt,
- Komunikacijski aspekt.

Odnosi između njih prikazani su na slici 11. Ovaj set od 6 aspekata omogućava strukturiran opis arhitekture kooperativnih ITS sustava.



Slika 11. Odnosi među aspektima C-ITS arhitekure
Izvor: [19]

5.1. Definicija aspekata kooperativne ITS arhitekture

Aspekti arhitekture koriste se za formalizaciju i vodstvo pri procesu evaluacije i pregleda modela arhitekture kako bi osigurali da arhitektura zadovoljava potrebne kvalitativne kriterije.

Kontekstualni aspekt opisuje odnose, ovisnosti i interakcije između sustava i njegovog okruženja (npr. Ljudi, drugih sustava i vanjskih entiteta) [21]. Pogled na arhitekturu iz kontekstualnog aspekta pomaže dionicima sustava da shvate svrhu samog sustava.

Funkcionalni aspekt opisuje funkcionalne elemente sustava, njihove odgovornosti, sučelja i primarne interakcije. Funkcionalni pogled pomaže dionicima razumjeti strukturu sustava i ima značajan utjecaj na svojstva kvalitete sustava [21].

Komunikacijski aspekt opisuje komunikacije (sučelja, komunikativne protokole) između različitih podsustava koji se nalaze na različitom hardverskom okružju. Komunikacijski pogled podržava dionike koji su umiješani u razvoj i omogućavanje komunikacije između različitih sustava.

Informacijski aspekt opisuje načine na koje arhitektura skladišti, upravlja i distribuira podacima i informacijama. Informacijski pogled pruža kvalitetan pregled statične strukture podataka i toka informacija korisnicima, developerima, testerima i održavateljima.

Implementacijski aspekt definira implementaciju za realiziranje funkcionalnosti u stvarno-životnim softverskim sustavima. Implementacijski pogled podržava dionike koji sudjeluju u izgradnji, testiranju, održavanju i poboljšavanju sustava.

Fizički aspekt definira fizičko okruženje gdje će sustav djelovati u ovisnosti na rad njegovih elemenata. Fizički pogled podržava dionike koji sudjeluju u raspoređivanju, testiranju i održavanju sustava tako što će pronaći hardversku potporu koju sustav zahtijeva i tehničke karakteristike za svaki element koji će pomoći što kvalitetnijem radu sustava.

5.2. Idealan prometni sustav u gradovima s aspekta komunikacijske arhitekture – VRUITS

Referentna komunikacijska arhitektura za kooperativne stanice ITS-a sastoji se od 4 glavne funkcionalne domene: aplikacije, postrojenja, mreža i transport te pristup. Također, sastoji se i od dvije potporne domene: sigurnost i upravljanje. Ova referentna komunikacijska arhitektura vrijedi za svaki ITS sustav, uključujući OBU, RSU i BO (engl. *Back Office)* sustave.

VRUITS projekt je projekt kojeg je financirala Europska unija, počeo je u 2013. godini, cilja na aktivnu integraciju "ljudskog" elementa unutar pristupa ITS-u fokusiranjem na potrebe svih važnijih dioničkih grupa, radi poboljšanja prometne sigurnosti i generalne mobilnosti ugroženih korisnika u gradskom prometnom sustavu.

Referentna komunikacijska arhitektura odnosi se i na VRUITS arhitekturu u gradskom prometnom sustavu. Koristeći tu logiku može se zaključiti da idealni prometni sustav u gradovima također koristi identičnu referentnu komunikacijsku arhitekturu i samim tim izdvaja VRUITS kao projekt koji nudi novi način razmišljanja koji, osim što prati razvoj ITS sustava u gradovima, zadržava naglasak na zaštiti sudionika gradskog prometnog sustava koji često ostaje zanemaren. VRUITS arhitektura podržava sljedeće ITS aplikacije [22]:

- Inteligentna prometna signalizacija za pješake,
- Zaštita na raskrižju,
- Sustav informiranja o vozilima na dva kotača,
- Sustav signalizacije za ugrožene korisnike prometa VRU (engl. *Vulnerable Road User)*,
- Prisutnost pješaka pokraj kolnika,
- Komunikacija vozila i bicikla,
- Zeleni val za bicikliste.

U realnom svijetu, komunikacijska arhitektura se raspoređuje u 4 funkcionalna entiteta (vozilo, cesta, centralni sustav, mobilni korisnik), ukoliko se oni razdvoje potrebno je otvoriti novu komunikacijsku mrežu koja će ih ponovno povezati nazad. The following networks are identified from communication viewpoint perspective by considering VRUITS architecture.

Sljedeće mreže definirane su iz perspektive komunikacijskog aspekta koristeći VRUITS arhitekturu [22]:

1. Kooperativne ad-hoc mreže: najbolje im odgovaraju kooperativne aplikacije. Koriste se za VRU2VRU, VRU2V/VRU2I i V2IVRU/I2VRU komunikaciju radi razmjene različitih tipova podataka koji su definirani u C-ITS arhitekturi.
2. Mreže unutar auta i VRU vozila na 2 kotača podijeljene su na 2 tipa:

- Mreže posebne za auto. Trenutno se testira autobus u automobilskoj industriji u kojem se dozvoljava komunikacija mikrouređaja bez potrebe za glavni sučeljem. Takve mreže mogu se zasnivati na CAN (engl. *Controler Area Network)* protokolu i MOST (engl. *Media Oriented Systems Transport*) protokolu. CAN protocol standardan je za razmjenu poruka "niske" vrijednosti, dok MOST čini jako brza mreža koja se može koristiti izvan i unutar vozila.
- VRU specifične mreže. Za motocikle i druga specifična VRU vozila, kao što su mopedi i bicikli, takve mreže još nisu dostupne. Još jedan primjer takve specifične mreže jest EnergyBus. To je mreža za komunikaciju između električnih komponenti laganih električnih vozila.

3. Javna prenosiva podatkovna mreža. VRU sustavi i sustavi unutar vozila mogu se povezati na centralne sustave preko ovih mreža. Ove mreže imaju svoj IP i koriste različite pristupne tehnologije kao što su GPRS, UMTS i LTE. ITS sustavi su uglavnom jedini korisnici na tim mrežama, mobilni operateri su vlasnici ovih mreža i dozvola, te su odgovorni za performance i kapacitete.
4. Druge mreže:

- Internet. Centralni sustavi u arhitekturi mogu biti povezani putem javne IP mreže.

6. ZAKLJUČAK

S obzirom na sve veću potražnju za kooperacijsim sustavima u Europi, Europska unija u zadnjih 20 godina sufinancirala je veliki broj projekata koji će razviti ITS arhitekturu koja bi bila prilagođena uvjetima potražnje u europskim gradovima. S obzirom na kontinuirani tehnološki razvoj na području informacijskih i komunikacijskih tehnologija, naglasak na razvoj komunikacijske ITS arhitekture u Europi postaje sve veći i sve više se potiče.

Razvojem europske komunikacijske arhitekture direktno proporcionalno razvijaju se i kooperativni sustavi. Svaki taj sustav temelji se na komunikacijskoj arhitekturi koja se brine da svaka komponenta unutar sustava može pouzdano komunicirati s drugim komponentama. Projekti poput CVIS-a, Safespot-a definirali su načine na koje treba razvijati kooperativne sustave, dok projekt poput C-The-Difference to provodi na sasvim novi nivo koji želi popularizirati utjecaj komunikacijske arhitekture u gradskim prometnim sustavima u europskim gradovima na način da to postane neizbježan faktor pri planiranju i dizajniranju budućih ITS kooperacijskih sustava. Osnova svakog kooperativnog sustava je V2V i V2I komunikacija jer se najviše primjenjuje u urbanim prometnim sustavima.

Kontinuiranim razvojem komunikacijske arhitekture došlo je utvrđivanja tehničko-tehnoloških standarda potrebnih za kvalitetan razvoj i implementaciju. Svaka komunikacijska arhitektura temelji se na komunikacijskim sustavima kao što su ad-hoc i sustavi kratkog dometa. Jedna karakteristika ove arhitekture koja zadržava naglasak pri razvoju jest sigurnost sustava koja ulijeva pouzdano mišljenje korisnika prometne mreže u prometni sustav u kojem se nalaze. Prvenstveno se to odnosi na komunikaciju između V2V i V2I sustava koji se koriste kao temelj za razvoj takvih kooperativnih sustava .

LITERATURA

[1] Bošnjak, I.: INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.

[2] Ezgeta, D., INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo 2018.

[3] Vujić, M: Materijali za predavanja iz kolegija *Arhitektura inteligentnih transportnih sustava,* Fakultet prometnih znanosti, Zagreb ak. Godina 2019./20.

[4] Kobetić, I., Diplomski rad, METODE EVALUACIJE TELEMATIČKIH RJEŠENJA U GRADSKOM PROMETNOM SUSTAVU, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2019.

[5] Škorput, P.: Materijali za predavanja iz kolegija *Upravljanje incidentnim situacijama u prometu*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb ak. godina 2019./20.

[6] https://frame-online.eu/wp-content/uploads/2014/10/PlanningGuideSR.pdf (pristup 04.06.2020.)

[7] U.S. Department of Transportation: "Research, Development and Technology Strategic Plan, Fiscal year 2012-2018.", 2013.

[8] Svrtan, H.: EUROPSKA KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA –seminarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

[9] COMeSafety –D31 European ITS Communication Architecture, 2009.

[10] ETSI EN 302 665 v1.1.1 2010.

[11] The European Communications Architecture for Co-operative Systems: A Key Enabler for the Development and Wide Scale Deployment of Co-operative Systems for Safe and Environmentally Sustainable Transport in Europe, Summary Document, 2009.

[12] Bechler,M.,Berninger,H.,Kompfner,P.:European ITS Communication Architecture, München,2010.

[13] Khan,U.A.,Sang,S.L.:Multi-Layer Problems and Solutions in VANETs: A Review, Department of Electronics % Computers, Hanyang University, Seoul,2019.

[14] Freudenstein, J., Cornwell, I.,Ortgiese, M., Blount,C.: Architecture for seamless road data dissemination to in-vehicle devices, 2013.

[15] D.CVIS.3.1, CVIS Reference Architecture, CVIS 2006.

[16] CVIS –D.CVIS.1.3. Final Activity Report, 2010.

[17] B. Ayyappan and P. M. Kumar, "Vehicular Ad Hoc Networks (VANET): Architectures, methodologies and design issues," 2016 Second International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM), Chennai, pp. 177-180., 2016.

[18] SAFESPOT D8.4.4 Safespot Applications, 2008.

[19] Daisuren,Y.,Karkhanis,P.,Kadiogullari,D.,Fünfrocken,M.:Accelerating C-ITS Mobility Innovation and deployment in Europe,2017.

[20] http://c-thedifference.eu/?page_id=2 (pristup 08.07.2020.)

[21] Rozanski, N. and Woods, E. Software systems architecture: working with stakeholders using viewpoints and perspectives.Addison-Wesley, 2011.

[22] K. Moerman, J. Scholliers, M. Penttinen, J. Luoma, M. Kallio, M. Kulju, H. Sintonen, M. Jutila, M. Valta, M. de Goede, M.van Sambeek, E. Wilschut, L. Kroon, J. González L., T. Paadín, F. Morte, J. Carranza, A. B. G. Meléndez, Ó. M. Pérez, S. P.Crespo, C. Cacciabue, and M. Cassani. 23/10/2014. VRUITS; Deliverable D4.2 Architecture for integration of VRUs and draft recommended practices for usability & user acceptance.Version 1.2.

POPIS SLIKA

Slika 1. Tijek razvoja ITS arhitekture. 4
Slika 2. Primjer logičke arhitekture 6
Slika 3. Proces evaluacije sustava 9
Slika 4. Proces razvoja kompleksnih sustava s reevaluacijom 10
Slika 5. Prikaz komunikacijske mreže 11
Slika 6. Arhitektura ITS komunikacijske stanice 12
Slika 7. ITS personalna komunikacijska stanica 15
Slika 8. DSRC arhitektura 17
Slika 9. CVIS arhitektura 23
Slika 10. Lokalna dinamična mapa 24
Slika 11. Odnosi među aspektima C-ITS arhitekure 27