

# Europska komunikacijska ITS arhitektura

---

**Matić, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:548991>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Marko Matić**

**EUROPSKA KOMUNIKACIJSKA ITS ARHITEKTURA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2016**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 19. travnja 2016.

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

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 3676**

Pristupnik: **Marko Matić (2223072780)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Europska komunikacijska ITS arhitektura**

### **Opis zadatka:**

Objasniti i definirati pojam arhitekture ITS-a. Pojasniti europsku arhitekturu ITS-a. Definirati pojam komunikacijske ITS arhitekture. Dati pregled komunikacijskih standarda definiranih u komunikacijskoj ITS arhitekturi. Predstaviti i analizirati primjere primjene europske komunikacijske ITS arhitekture.

Zadatak uručen pristupniku: 23. ožujka 2016.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

dr. sc. Miroslav Vujić

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**EUROPSKA KOMUNIKACIJSKA ITS ARHITEKTURA**

**EUROPEAN ITS COMMUNICATION ARCHITECTURE**

Mentor: dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Marko Matic

JMBAG: 2223072780

Zagreb, studeni 2016.

## **SAŽETAK**

Glavna tema ovog završnog rada je europska komunikacijska arhitektura ITS-a, njezina struktura, pregled komunikacijskih standarda koji se koriste u komunikacijskoj arhitekturi te njezina primjena. Ovaj rad prikazuje i pregled općenite arhitekture ITS-a s posebnim osvrtom na europsku okvirnu arhitekturu ITS-a, a unutar koje se nalazi europska komunikacijska arhitektura. Rad daje opis razvoja i metodologije okvirne arhitekture. U radu su opisani funkcionalni elementi komunikacijske arhitekture i referentna arhitektura stanice ITS-a. Predstavljani su i određeni radio sustavi poput CEN DSRC 5.8 GHz i UMTS-a, a koji predstavljaju komunikacijske standarde. Pregled primjene komunikacijske arhitekture je dan kroz prikaz nekoliko europskih projekata poput CVIS-a i SAFESPOTA-a, a čija je orijentacija bila na V2V i V2I komunikaciji.

**KLJUČNE RIJEČI:** europska ITS arhitektura, komunikacijska arhitektura, okvirna arhitektura

## **SUMMARY**

The main theme of this final paper is European ITS communication architecture, its structure, overview of communication standards used in communication architecture and its application. This final paper also presents an overview of the general ITS architecture with special references to the European framework ITS architecture, and within which is European communications architecture. The final paper gives a description of development, and methodology of framework architecture. The paper describes the functional elements of communication architecture and reference a architecture of ITS station. Certain radio systems such as CEN DSRC 5.8 GHz and UMTS, which represent communication standard, are also presented. Overview of communication architecture application is given through the presentation of several European projects such as CVIS and SAFESPOT, and whose orientation was on V2V and V2I communication.

**KEYWORDS:** European ITS communication architecture, communication architecture, Framework architecture

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ARHITEKTURA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA.....	3
2.1. Razvoj kompleksnih ITS sustava .....	3
2.2. Klasični (iterativni) razvoj .....	4
2.3. Evolutivni razvoj.....	5
2.4. Načela „dobre“ arhitekture .....	5
2.5. Podjela arhitekture ITS-a .....	6
2.6. Tipovi arhitekture ITS-a .....	8
2.7. Razine arhitekture ITS-a.....	10
2.8. Metodološki pristupi razvoju.....	11
2.9. Evaluacija ITS sustava .....	11
3. EUROPSKA OKVIRNA ARHITEKTURA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA .....	13
3.1. Razvoj europske arhitekture ITS-a.....	17
3.2. Arhitektura ITS-a kao dio inženjerstva sustava .....	19
3.3. Metodologija okvirne arhitekture .....	20
4. KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA .....	25
4.1. Terminologija .....	25
4.2. Funkcionalni elementi komunikacijske arhitekture ITS-a .....	27
4.2.1. Osnovne komponente komunikacijske arhitekture ITS-a.....	27
4.2.2. Referentna arhitektura stanice ITS-a .....	28
4.3. Područja primjene komunikacijske arhitekture .....	33
4.4. Scenariji komunikacijske arhitekture .....	33
5. KOMUNIKACIJSKI STANDARDI U KOMUNIKACIJSKOJ ITS ARHITEKTURI .....	35
5.1. Parametri radio sustava.....	35

5.2.	Sustavi kratko dometa i ad-hoc sustavi .....	37
5.2.1.	CEN DSRC 5.8 GHZ .....	37
5.2.2.	European 5.9 Ghz ITS .....	38
5.3.	Ćelijski sustavi .....	40
5.3.1.	Bežična mreža.....	40
5.3.2.	GSM/GPRS.....	41
5.3.3.	UMTS (engl. <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> ).....	43
6.	PRIMJENA EUROPSKE KOMUNIKACIJSKE ITS ARHITEKTURE.....	45
6.1.	CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems) .....	45
6.2.	SAFESPOT .....	46
6.3.	SEVECOM (Secure Vehicular Communication).....	48
6.4.	Situacija u Republici Hrvatskoj.....	51
7.	ZAKLJUČAK .....	53
	LITERATURA.....	54
	POPIS SLIKA .....	56

## 1. UVOD

Transportni, prometni i komunikacijski sustavi su složeni sustavi te zbog toga prilikom njihovog razvoja koristi arhitektura. Arhitektura inteligentnih transportnih sustava (ITS) predstavlja osnovu za razvoj integriranih sustava. Ona prikazuje i određuje u kakvim su međusobnim odnosima komponente sustava te daje podlogu za njihovo planiranje i dizajn. Za razvoj arhitekture ITS-a nužno je detaljno poznavanje transportnih sustava te informacijskih i komunikacijskih tehnologija. Uvjeti u kojima će se koristiti ITS i zahtjevi budućih korisnika ITS-a su također bitan dio s kojim se treba upoznati prije razvoja arhitekture. Arhitektura ITS-a je podijeljena na tri tipa: okvirnu, obveznu i servisnu arhitekturu, dok je prema unutarnjoj strukturi podijeljena na tri osnovna dijela: fizičku, logičku i komunikacijsku arhitekturu, koja i tema ovog rada.

Europska arhitektura ITS-a se svrstava pod okvirni tip arhitekture, pa se tako i službeno naziva „Europska okvirna arhitektura ITS-a“. Za njen razvoj je ključna bila inicijativa Europske unija, koja htjela stabilan okvir za razvoj integriranih i interoperabilnih ITS-a.

Europska komunikacijska arhitektura ITS-a definira načine na koje komuniciraju različiti dijelovi sustava. Ona predstavlja osnovu za razvoj kooperacijskih sustava koji zahtijevaju ustaljene i standardizirane oblike komuniciranja između komponenti. Osnovni smisao komunikacijske arhitekture je da osigura međusobno funkcioniranje svih dijelova sustava, kako bi ti sustavi bili sigurni za upotrebu, zaštićeni od vanjskih utjecaja te interoperabilni. Naslov završnog rada je: Europska komunikacijska ITS arhitektura. Podijeljen je sedam cjelina:

1. Uvod
2. Arhitektura inteligentnih transportnih sustava
3. Europska okvirna arhitektura inteligentnih transportnih sustava
4. Komunikacijska arhitektura inteligentnih transportnih sustava
5. Komunikacijski standardi u komunikacijskoj ITS arhitekturi
6. Primjeri europske komunikacijske ITS arhitekture
7. Zaključak



Drugo poglavlje opisuje arhitekturu ITS-a. Prikazuje različite pristupe pri razvoju arhitekture ITS-a, njezine tipove i razine te razvoj i metodološke pristupe.

U treće poglavlju je detaljno obrađena europska okvirna arhitektura ITS-a, njezin razvoj i metodologija.

Četvrto poglavlje prikazuje komunikacijsku arhitekturu ITS-a. Opisuje njezine tehničke komponente i područja primjene.

Kroz peto poglavlje su objašnjeni komunikacijski standardi koji se primjenjuju u komunikacijskoj arhitekturi ITS-a.

U šestom poglavlju su prikazani projekti u kojima se komunikacijska arhitektura primjenjuje i čiji je temelj.

Završno poglavlje prikazuje zaključna razmišljanja o temi obrađenoj u ovom završnom radu.

## **2. ARHITEKTURA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA**

Arhitektura ITS-a predstavlja temeljnu organizaciju sustava koja sadrži ključne komponente, njihove odnose i veze prema okolini te načela njihova dizajniranja i razvoja. Ona zbog toga predstavlja primarni zahtjev i element ITS planiranja i usklađenog razvoja ITS aplikacija [1]. Arhitektura ITS-a uključuje i aplikacije naprednih tehnologija, poput informacijskih i komunikacijskih, a na koje gleda iz kuta transporta[2].

Arhitektura specificira u kakvim su međusobnim odnosima različite komponente sustava i daje opći predložak (engl. *general framework*) kako da se planiraju, dizajniraju i postavljaju integrirani sustavi u određenom prostorno-vremenskom obuhvatu [1].

U transportnim, prometnim i komunikacijskim sustavima se arhitektura primjenjuje zbog složenosti tih sustava, a koje je radi toga potrebno promatrati iz više gledišta, te se zato primjenjuje arhitektura kao opći okvir za efektivno dizajniranje navedenih sustava.

Za razvoj arhitekture ITS-a bitno je detaljno poznavati korisnike ITS-a i uvjete u kojima će se ITS koristiti, odnosno nužno je iskustvo poznavanja transportnih sustava i okvirno poznavanje najnovijih tehnoloških dostignuća iz polja informacijskih i komunikacijskih tehnologija. Grčka riječ „*architecton*“ znači glavni graditelj ili glavni zidar, a označava stil gradnje kod kojeg izvedbe mogu biti različite [1]. Tako je i arhitektura ključni, odnosno glavni graditelj ITS-a, a da bi se sustavu izgradili temelji, potrebno je poznavati sve komponente sustava. Glavna orijentacija arhitekta sustava je da omogući međusobno povezivanje trenutnih i budućih komponenti sustava.

Smisao arhitekture ITS-aje da pruži stabilan i otvoren okvir za razvoj sustava (podsustava) niže razine koji će biti kompatibilni, konzistentni i interoperabilni.

### **2.1. Razvoj kompleksnih ITS sustava**

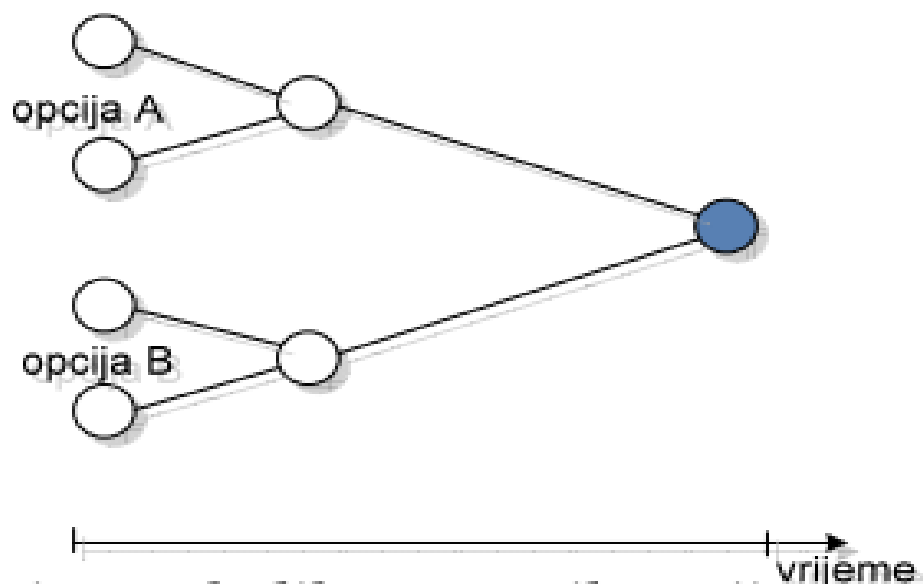
Kod razvoja ITS sustava tokom vremena dolazi do značajnih promjena u početnim zahtjevima korisnika, pojavljuju se nova i bolja tehničko-tehnološka rješenja te se zbog toga gradnja i razvoj kompleksnog sustava kao što je ITS ne bi trebala temeljiti na klasičnom

razvojnem ciklusu pošto on pretpostavlja da se tehnologija tokom razvoja neće značajno promijeniti te da su ulazni zahtjevi jasno definirani.

Efektivni razvoj ITS-a traži definiranje arhitekture sustava koja fleksibilna, konzistentna i otvorena za nova organizacijska i tehničko-tehnološka rješenja te zato kod razvoja kompleksnih ITS sustava prednost ispred klasičnog (iterativnog) razvoja ima evolutivni razvoj [1].

## 2.2. Klasični (iterativni) razvoj

Klasični ili iterativni razvoj (Slika 1) kompleksnog sustava pretpostavlja da su zahtjevi korisnika i tehničko-tehnološke mogućnosti poznate i definirane te se u obzir uzima nekoliko scenarija i zatim se procesom eliminacije dolazi do konačnog dizajna sustava [1].

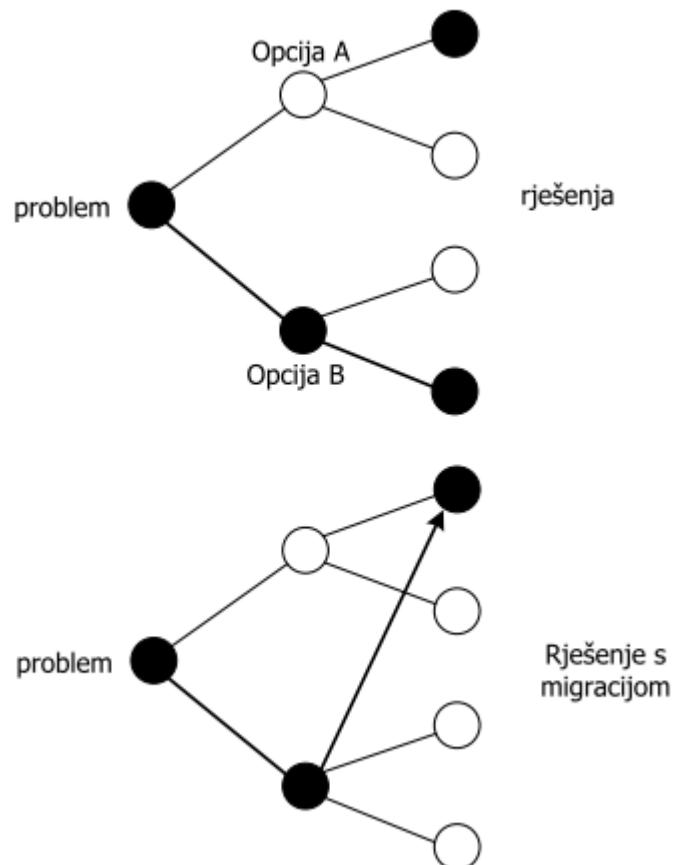


Slika 1: Klasični tijek razvoja sustava [1]

Takav pristup razvoju arhitekture ITS-a nije preporučljiv jer se zahtjevi korisnika često mijenjaju te nije moguća implementacija novih tehnologija koje će biti razvijene u budućnosti.

### 2.3. Evolutivni razvoj

Evolutivni razvoj (Slika 2) koji se temelji na dobro definiranoj arhitekturi ima bitne prednosti u odnosu na klasični ili iterativni razvoj.



Slika 2: Evolutivni pristup razvoju kompleksnog sustava [1]

Evolutivni razvoj zahtjeva definiranje konzistentne i fleksibilne arhitekture sustava koja je otvorena za nova rješenja, tj. kod koje je moguća implementacija budućih tehničko-tehnoloških rješenja i kod koje je polazište problem koji je potrebno riješiti te se na temelju toga može definirati više rješenja koja zadovoljavaju potrebe izrade arhitekture.

### 2.4. Načela „dobre“ arhitekture

Koncept arhitekture se veže uz arhitektonski dizajn građevina gdje arhitekt vidi rješenje (sustav) na globalnoj razini s fokusom na aspekte koji su bitni za potrebe korisnika i

okruženja. Takav sustav nije detaljno razrađen, ali su specificirana sva svojstva koja su bitna za korisnika.

Prema [1] načela koja obilježavaju „dobru“ arhitekturu jesu:

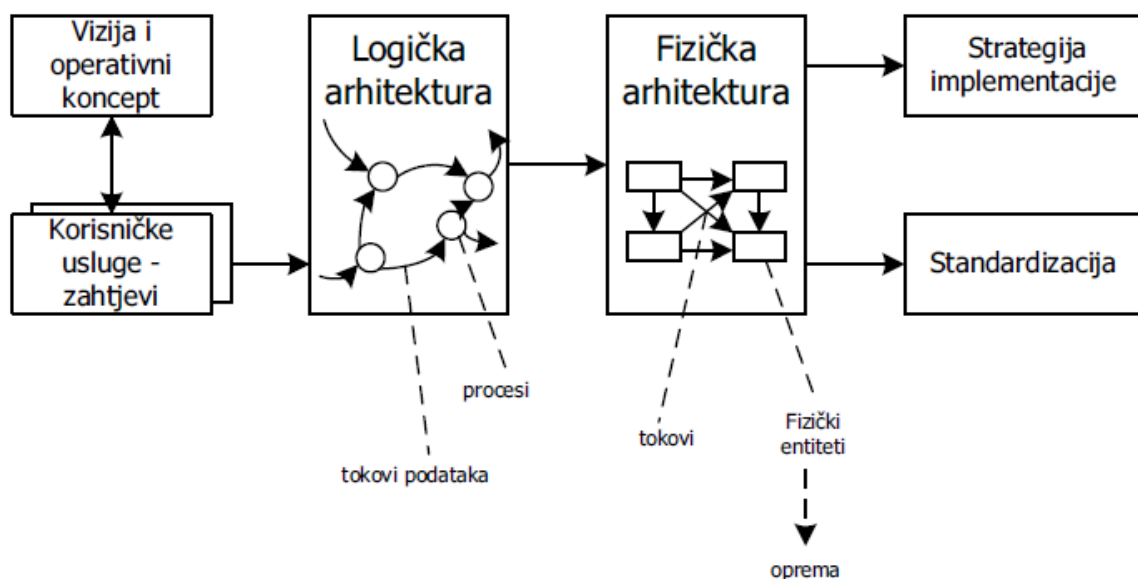
1. Konzistentnost - uz djelomično znanje sustava moguće je predvidjeti ostatak sustava
2. Ortogonalnost - međusobno neovisne funkcije se trebaju držati odvojene u specifikaciji
3. Umjesnost (engl. *Propriety*) - dobra arhitektura ne sadrži uporabne funkcije
4. Transparentnost - funkcije su jasne korisnicima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

Dobra arhitektura također treba i uvažavati tehničko-tehnološke mogućnosti te ekonomska ograničenja.

## **2.5. Podjela arhitekture ITS-a**

Arhitekturu ITS-a možemo podijeliti na tri osnovna dijela, od kojih svaki ima svoja pravila i ulogu u međusobnom odnosu između njih (Slika 3).

1. fizička arhitektura ITS-a
2. logička arhitektura ITS-a
3. komunikacijska arhitektura ITS-a

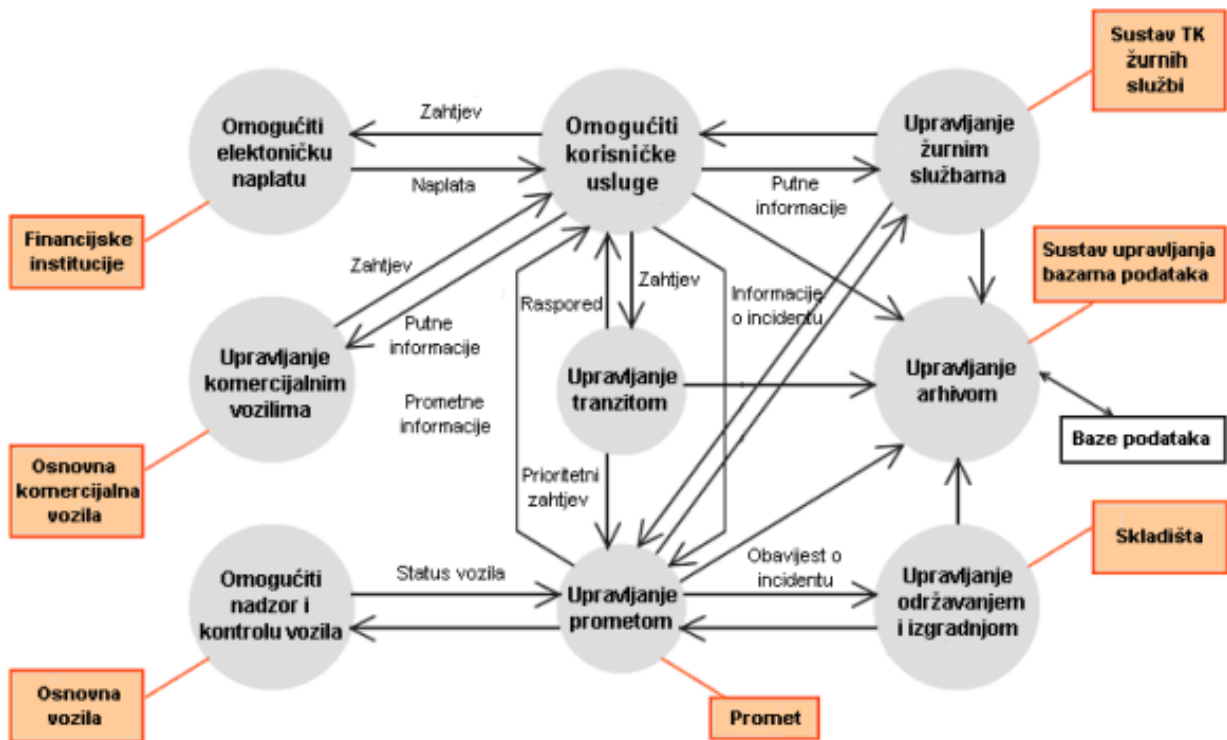


Slika 3: Tijek razvoja arhitekture [1]

**Fizička arhitektura ITS-a** definira i opisuje dijelove funkcionalne arhitekture koji mogu biti povezani tako da tvore fizičke entitete. Fizički entiteti mogu pružati jednu ili više usluga koje su zahtijevane od korisnika i mogu biti fizički realizirani, a to je ujedno i temeljna značajka fizičke arhitekture ITS-a. Ona također pokazuje gdje će se funkcijski procesi smjestiti i prikazuje važna ITS sučelja (veze) između glavnih komponenti sustava (vozač/putnik, vozilo, prometnica). Žične i bežične komunikacijske mreže omogućuju komunikaciju između komponenata [1].

Dio fizičke arhitekture ITS-a je i komunikacijska. **Komunikacijska arhitektura ITS-a** definira oblike komuniciranja među entitetima npr. definira oblike protoka podataka (engl. *data flows*) odnosno definira i opisuje načine kojima se razmjenjuju informacije između različitih dijelova sustava, a to ostvaruje korištenjem fizičke razmjene podataka te je stoga dio fizičke arhitekture. Komunikacijska arhitektura će biti obrađena u nastavku ovog završnog rada.

**Logička arhitektura ITS-a** (Slika 4) definira unutarnju logiku odnosa između pojedinih entiteta i predstavljena je nazivom temeljne funkcije s informacijskim inputima (izvorima) i odredištima. Ona se izvodi iz specificiranih korisničkih zahtjeva te služi za izradu fizičke arhitekture, tj. primjera ITS sustava (engl. *example system*).



Slika 4: Primjer logičke arhitekture [1]

Logička arhitektura ITS-a prikazuje potrebne funkcijske procese i tokove podataka koji su potrebni da se zadovolje zahtjevi korisnika odnosno usluga. Neovisna je o tehničko-tehnološkoj implementaciji odnosno o opremi te je osnova je za definiranje fizičke arhitekture[1].

## 2.6. Tipovi arhitektura ITS-a

Krajem 20. i početkom 21. stoljeća u nekim naprednim zemljama razvijeno je nekoliko arhitektura ITS-a, tj. predložaka koji usmjeravaju razvoj ITS rješenja. Neke od tih arhitektura su američka nacionalna arhitektura ITS-a, europska arhitektura ITS-a, japanska nacionalna arhitektura ITS-a, australska arhitektura ITS-a, itd.

Američka nacionalna arhitektura ITS-a je razvijena prva, 1996. godine. Ona je prva počela upotrebljavati terminologiju koja se djelomično razlikuje od terminologije transportnog i prometnog inženjerstva te je uvela posebnu metodologiju za definiranje i razvoj aplikacija ITS-a, a težište joj je na fizičkom gledištu. Temeljni dokumenti joj obuhvaćaju viziju ITS-a, teoriju operativnog djelovanja, logičku i fizičku arhitekturu, analizu troškova i

koristi, analizu rizika i strategiju implementacije, a ključne komponente su specifikacija korisničkih zahtjeva i usluga, logička i fizička arhitektura, tržišni paketi ITS rješenja i prateće analize [1].

Prva verzija japanske nacionalne arhitekture ITS-a je dovršena 1999. godine i posjeduje opće značajke arhitekture, s tim da koristi objektno orijentiran metodološki pristup [1].

Europska okvirna arhitektura ITS-a je orijentirana na funkcionalno gledište i potrebe korisnika. Zbog razvoja europske okvirne arhitekture ITS-a, Europska komisija je pokrenula projekt KAREN (engl. *Keystone Architecture Required for European Networks*) 1999. godine, a koji se nastavio projektom FRAME (engl. *Framework Architecture Made for Europe*) [3]. Glavni dokumenti europske okvirne arhitekture ITS-a obuhvaćaju funkcionalnu arhitekturu, fizičku arhitekturu, komunikacijsku arhitekturu, analizu troškova i koristi, studiju implementacije i modele za implementaciju ITS-a [1].

Na temelju tih razvijenih arhitektura ITS-a, možemo s obzirom na sadržaj i obveznost prepoznati tri osnovna tipa arhitektura prema [1]:

1. Okvirna arhitektura ITS-a (engl. *Framework Architecture*)
2. Obvezna arhitektura ITS-a (engl. *Mandated Architecture*)
3. Servisna arhitektura ITS-a (engl. *Service Architecture*)

**Okvirna arhitektura ITS-a** se odnosi na iskazivanje potreba i zahtjeva korisnika te funkcionalno gledište. Primjerena je regionalnu odnosno nacionalnu razinu te se može koristiti za kreiranje obvezne i servisne arhitekture ITS-a.

**Obvezna arhitektura ITS-a** uključuje fizičko, logičko i komunikacijsko gledište, ali i izlaze (engl. *output*) poput analize troškova i koristi, analize rizika itd. Sadržaj fizičke arhitekture je fiksna i točno definira opseg izvedbenih opcija.

**Servisna arhitektura ITS-a** je poput obvezne arhitekture ITS-a, ali s razlikom što definira i neke određene ITS usluge kao što su informiranje putnika, upravljanje javnim gradskim prijevozom, upravljanje incidentnim situacijama [1].



## 2.7. Razine arhitekture ITS-a

Za promatranje arhitekture ITS-a je pogodno koristiti višerazinske modele zbog različitih gledišta i sadržaja koji čine arhitekturu ITS-a, s tim da su razine neovisne o tehnologiji i stabilne u smislu ITS usluga i funkcija [1].

Projekt CONVERGE je definirao tri razine arhitekture ITS-a [4] te razinu 0 koja se odnosi na dizajn komponenti:

3. Međuorganizacijska razina
2. Razina jedne organizacije
1. Tehnologijska razina
0. Razina tehničkih komponenata

**Razina 0** nije dio arhitekture pošto se odnosi na dizajn komponenata te ovisi o izabranoj tehnologiji. Tipično se odnosi na dobavljače koji razvijaju pojedine komponente ili podsustave prema određenim ciljevima i standardnim razvojnim procedurama.

**Razina 1** definira strukturu sustava i relacije između podsustava. Ona se sastoji od nekoliko posebnih arhitektura poput logičke ili funkcionalne arhitekture koja opisuje funkcije ITS-a i tokove podataka između njih i glavne baze podataka, fizičke arhitekture koja opisuje grupiranje funkcija i podfunkcija u fizičke jedinice i komunikacijske veze između njih, komunikacijske arhitekture koja opisuje tokove podataka i zahtjevne karakteristike prijenosnih medija poput propusnosti.

**Razina 2** definira svojstva i integraciju sustava koji djeluju unutar jedne organizacije (engl. *Single Agency Level*). Zahtijevaju se multidisciplinarna znanja i primjenjuju različite nestandardizirane procedure.

**Razina 3** uključuje realna ograničenja i djelovanja prema drugim organizacijama. Na razini 3 se specificira zahtijevana razina međusobnog povezivanja i interoperabilnosti, dok se dizajnerima podsustava ostavlja izbor tehnologije koju će koristiti.

## 2.8. Metodološki pristupi razvoju

Prilikom razvoja arhitekture ITS-a i ITS aplikacija, koriste se dva osnovna metodološka pristupa, a to su procesno orijentirani pristup i objektno orijentirani pristup. Procesno orijentirani pristup se koristi već dugi niz godina te je postao praktički standardni način za analize i sinteze informacijskih intenzivnih sustava, dok se objektno orijentirani pristup pojavio s razvojem digitalnih računala i matematičko-logičkih disciplina [1].

Kroz procesno orijentirani pristup je zbog njegove raširene upotrebe razvijen niz metoda i alata koji se koriste u raznim fazama životnog ciklusa. Glavne točke procesno orijentiranog pristupa su definiranje (input-output) procesa, funkcionalna dekompozicija i tokovi podataka.

Objektno orijentirani pristup je od svojih početaka bio vezan za sustave koji izvode slične procese ali s različitim tipovima podataka. Veću upotrebu objektno orijentiranog pristupa je osigurao razvoj distribuiranih baza podataka, grafike sučelja i sučelja prihvatljivih korisnicima [1]. Problem upotrebe objektno orijentiranog pristupa je u tome što se ne mogu svi korisnički zahtjevi, koji su tekstualni, pretvoriti u inženjerske zahtjeve, međutim dijagramskim izražavanjem zahtjeva, razvojem alternativnih scenarija s različitim slučajevima korištenja (engl. *Use Case*), ignoriranjem zahtjeva korisnika koji se ne mogu izraziti slučajevima korištenja taj se problem može djelomično umanjiti.

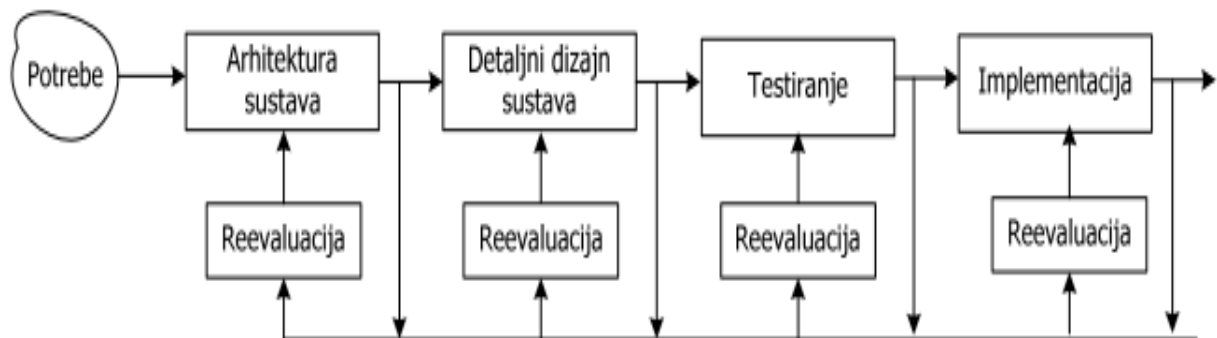
## 2.9. Evaluacija ITS sustava

Evaluacija je sastavni dio svakog sustavski utemeljenog razvojnog procesa pa je tako i sastavni dio životnog ciklusa ITS projekta. ITS evaluacija zbog teže procjene stvarne efektivnosti investicija u ITS traži drugačiji pristup nego kod klasičnih prometnih projekata. Imamo tri osnovna tipa evaluacije [1]:

- Evaluacija tokom planiranja
- Praćenje implementacije
- Procjena utjecaja (engl. *Impact Assessment*)

Evaluaciju koja prethodi dizajniranju i gradnji sustava zovemo formativna evaluacija, a evaluacija nakon provedbe projekta je sumativna evaluacija. Evaluacija započinje kada se uspostavlja prioritet i selekcija između različitih projekata prema raspoloživim sredstvima ili posebnim zahtjevima. Nakon toga započinje sustavno praćenje implementacije (engl. *Deployment Tracking*). Zatim slijedi procjena utjecaja ITS-a na promjene relevantnih pokazatelja poput vremena putovanja, broja i težine prometnih nezgoda itd.

Kod iterativnog procesa razvoja kompleksnih ITS sustava imamo reevaluaciju (Slika 5). Ona se događa poslije svake faze razvoja, a znači kontinuirani proces s velikim brojem paralelnih petlji, a pri čemu se promatraju izlazi te se tako dobivene informacije koriste za modificiranje sustava odnosno ulaza i izlaza ili rezultata procesa [1].

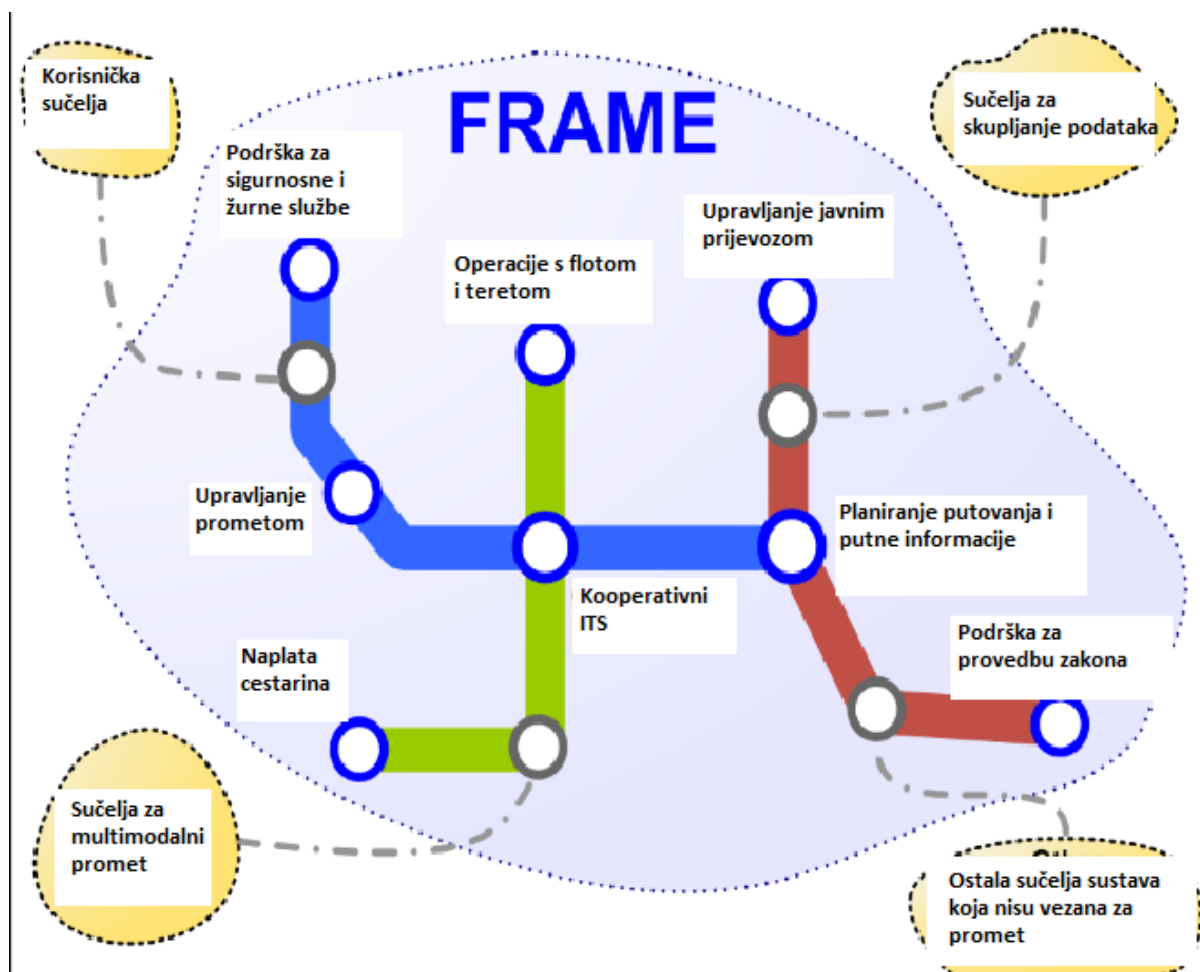


Slika 5: Proces razvoja kompleksnih sustava s reevaluacijom [1]

Kod evaluacije ITS-a, osim tehničkog izvođenja, nužno je tijekom cijelog životnog ciklusa pratiti i ulaganja i troškove sustava, a pri čemu se mogu primijeniti i složene analize efektivnosti uključivanjem zahtjeva za održivim razvojem prometnog sustava [1].

### 3. EUROPSKA OKVIRNA ARHITEKTURA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA

Europska arhitektura ITS-a spada po pod tip okvirne arhitekture ITS-a pa se tako službeno i naziva europska okvirna (engl. *Framework*) arhitektura ITS-a [3] (Slika 6). Napravljena je u okviru projekta KAREN koji je financiran od strane Europske komisije, a s ciljem da pruži stabilan okvir za razvoj integriranih i interoperabilnih ITS-a unutar Europske unije.



Slika 6: FRAME arhitektura [3]

Osnovna svrha europske okvirne arhitekture je da potakne razvoj ITS-a u Europi, odnosno da se pruži sustavna baza za planiranje implementacija ITS-a i da se olakša integracija prilikom razvijanja više različitih sustava [3].

Svoju svrhu europska okvirna arhitektura ispunjava tako da pruža model za skoro sve ITS-ove, a iz kojeg se mogu sistematično i na podjednak način napraviti pojedini podskupovi integriranih ITS-ova. Ona pokriva skoro sve usluge i aplikacije ITS-a koje se trenutno koriste u Europi. Okvirna arhitektura pruža ITS inženjerima diljem Europe zajedničku platformu po kojoj mogu razvijati ITS usluge i aplikacije, ali ne određuje kako bi se trebalo nešto napraviti na tehničkoj ili organizacijskoj razini.

Europska okvirna arhitektura je orijentirana na potrebe korisnika i funkcionalno gledište zbog toga jer je razvijena za potrebe Europske unije, a koja zbog propisa o supsidijarnosti ne nameće fizičko gledište ili organizacijsku strukturu prilikom razvoja ITS aplikacija ili usluga svojim državama članicama. Ostala gledišta poput komunikacijskog ili fizičkog se stvaraju kada se za njima pokaže potreba.

Osim potreba funkcionalnog gledišta, neki od osnovnih dijelova okvirne arhitekture su fizičko gledište, komunikacijsko gledište, analiza troškova i koristi, studija implementacije, modeli za ITS implementaciju [1].

11 funkcionalnih područja ITS prema međunarodnoj organizaciji za normizaciju ISO:

- informiranje putnika (engl. *Traveler Information*)
- upravljanje prometom i operacijama (engl. *Traffic Management and Operations*)
- vozila (engl. *Vehicles*)
- prijevoz tereta (engl. *Freight Transport*)
- javni prijevoz (engl. *Public Transport*)
- žurne služne (engl. *Emergency*)
- elektronička plaćanja vezana uz transport (engl. *Transport Related Electronic Payment*)
- sigurnost osoba u cestovnom prijevozu (engl. *Road Transport Related Personal Safety*)
- nadzor vremenskih uvjeta i okoliša (engl. *Weather and Environmental Monitoring*)

- upravljanje odzivom na velike nesreće (engl. *Disaster Response Management and Coordination*)
- nacionalna sigurnost (engl. *National Security*)

32 temeljne usluge prema ISO, a koje su dio funkcionalnih područja:

1. predputno informiranje (engl. *Pre-trip Information*)
2. putno informiranje vozača (engl. *On-trip Driver Information*)
3. putno informiranje u javnom prijevozu (engl. *On-trip Public Transport Information*)
4. osobne informacijske usluge (engl. *Personal Information Services*)
5. rutni vodič i navigacija (engl. *Route Guidance and Navigation*)
6. podrška planiranju prijevoza (engl. *Transport Planning Support*)
7. vođenje prometnog toka (engl. *Traffic Control*)
8. nadzor i otklanjanje incidenata (engl. *Incident Management*)
9. upravljanje potražnjom (engl. *Demand Management*)
10. nadzor nad kršenjem prometne regulative (engl. *Policing/Enforcing Traffic Regulations*)
11. upravljanje održavanjem infrastrukture (engl. *Infrastructure Maintenance Management*)
12. poboljšanje vidljivosti (engl. *Vision Enhancement*)
13. automatizirane operacije vozila (engl. *Automated Vehicle Operation*)
14. izbjegavanje čelnih sudara (engl. *Longitudinal Collision Avoidance*)
15. izbjegavanje bočnih sudara (engl. *Lateral Collision Avoidance*).
16. sigurnosna pripravnost (engl. *Safety Readiness*)
17. sprečavanje sudara (engl. *Pre-crash Restraint Deployment*)

18. odobrenja za komercijalna vozila (engl. *Commercial Vehicle Pre-Clearance*)
19. administrativni procesi za komercijalna vozila (engl. *Commercial Vehicle Administrative Processes*)
20. automatski nadzor sigurnosti cesta (engl. *Automated Roadside Safety Inspection*)
21. sigurnosni nadzor komercijalnog vozila na instrumentnoj ploči (engl. *Commercial Vehicle On-board Safety Monitoring*)
22. upravljanje komercijalnim voznim parkom (engl. *Commercial Fleet Management*)
23. upravljanje javnim prijevozom (engl. *Public Transport Management*)
24. javni prijevoz na zahtjev (engl. *Demand-Responsive Public Transport*)
25. upravljanje zajedničkim prijevozom (engl. *Shared Transport Management*)
26. žurne objave i zaštita osoba (engl. *Emergency Notification and Personal Security*)
27. upravljanje vozilima žurnih službi (engl. *Emergency Vehicle Management*)
28. obavještanje o opasnim teretima (engl. *Hazardous Materials and Incident Information*)
29. elektroničke financijske transakcije (engl. *Electronic Financial Transactions*)
30. zaštita u javnom prijevozu (engl. *Public Travel Security*)
31. povećanje sigurnosti „ranjivih“ cestovnih korisnika (engl. *Safety Enhancement for Vulnerable Road Users*)
32. inteligentna čvorišta i dionice (engl. *Intelligent Junctions and Links*)

Nacionalne arhitekture ITS-a mogu imati i neke usluge i funkcionalna područja koja nisu točno navedena u trenutnim ISO taksonomijama usluga. Ali je preporučljivo je da se u kod specifikacije korisničkih potreba prilikom izrade arhitekture ITS-a krene od specifikacija ITS usluga i domena navedenih ISO taksonomijom.

### 3.1. Razvoj europske arhitekture ITS-a

Prvi službeni dokument europske okvirne arhitekture je izdan u listopadu 2000. godine u sklopu projekta KAREN. Razvijena je na preporuku Skupine na visokoj razini za transportnu telematiku (engl. *High Level Group on Transport Telematics*), a koja je potporu dobila u vidu rezolucije Vijeća ministara Europske unije. Zatim je od 2001. do 2004. europska okvirna arhitektura dobila potporu kroz nekoliko projekata jer se došlo do zaključka da je potrebno imati središnje mjesto gdje će biti skapljena trenutna znanja o okvirnoj arhitekturi te gdje će arhitektura moći efektivno pratiti razvoj ITS-a, a i potencijalni korisnici bi na tom mjestu mogli postavljati pitanja i saznati informacije o korištenju ITS-a. To je sve uspješno napravljeno kroz dva projekta FRAME-NET i FRAME-S. U FRAME-NET projekt su nastali korisnički forumi te su skupljena i posložena iskustva korisnika FRAME arhitekture. Projekt FRAME-S je poslužio za održavanje funkcionalnosti europske okvirne arhitekture, ali su i u sklopu njega razvijeni računalni alati kao pomoćna sredstva za razvoj arhitekture i korištenje ITS-a. Također, kroz ovaj projekt su potpomognute mnoge države i projekti, koje su tako napravile temelje za upotrebu arhitekture u svojim zemljama. U razdoblju od 2005. do 2008. godine nije bilo novih projekata, nego je samo pružana ograničena potpora kroz FRAME forum trenutnim i potencijalnim korisnicima. 2008. godine je započeo projekt E-FRAME, a čiji je cilj bio da se europskom okvirnom arhitekturom pokrije područje kooperativnih sustava, a koje uključuje V2V (engl. *vehicle-to-vehicle*) vozilo-vozilo i V2I (engl. *vehicle-to-infrastructure*) vozilo-infrastruktura komunikaciju. E-FRAME je navedeno područje uključio u europsku okvirnu arhitekturu te je završio 2011. godine. Kroz FRAME projekte je zaključeno da se arhitektura ITS-a mora konstantno razvijati i držati korak s ITS-om. Definicije pojmova okvirne arhitekture su:

- a) Terminator – entitet koji je dio vanjskog svijeta, a s kojim okvirna arhitektura komunicira putem sučelja. Terminator mogu biti osoba (npr. vozač) ili sustav s kojima se mogu razmijeniti podaci odnosno može biti i fizički entitet od kojeg se mogu dobiti podaci (atmosfera, površina prometnice itd.).



- b) Aktor (engl. *actor*) – to je točno određeni podset terminatora. Koriste se kada se terminatori moraju podijeliti da bi se lakše identificirali u okvirnoj arhitekturi. Tako ako je npr. terminator vozač, onda aktori mogu biti vozač hitne pomoći, vozač teretnog vozila, vozač vozila za javni prijevoz itd.
- c) Kontekstni dijagram – prikazuje ITS kao jedan predmet i pokazuje veze koje su potrebne za komunikaciju s vanjskim entitetima, odnosno terminatorima
- d) Spremište podataka – koristi se za čuvanje podataka koje koriste dvije ili više funkcija unutar funkcionalnog područja
- e) Funkcija – dio je funkcionalnog područja, a dijele se na funkcije više i niže razine
- f) Funkcionalno područje – odgovorno je specifično područje operacija, a više funkcionalnih područja tvori funkcionalno gledište
- g) Protok podataka (engl. *Data Flows*) – povezuje funkcije međusobno te sa terminatorima i spremištima podataka. Omogućuje da se podaci prenose unutar arhitekture.

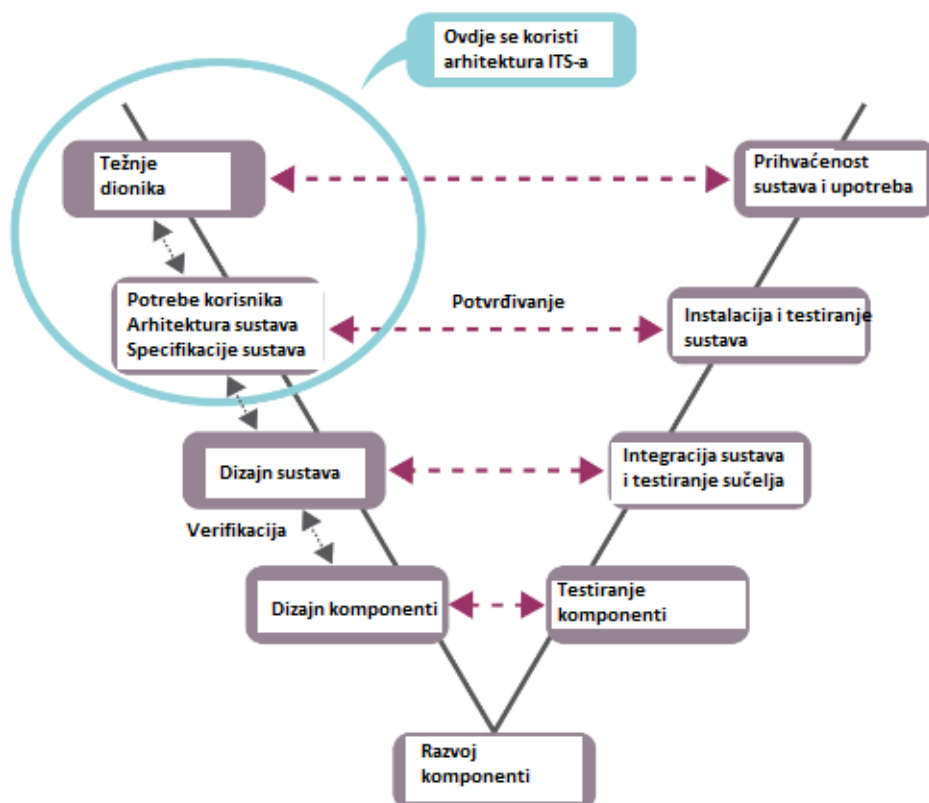
Postoje tri tipa protoka podataka [3]:

1. Funkcionalni protok podataka – prenosi podatke između funkcija i prema ili od spremišta podataka
  2. Terminatorski protok podataka – prenosi podatke od ili prema terminatorima
  3. Protok podataka između funkcionalnih područja – prenosi podatke između funkcija u različitim funkcionalnim područjima
- h) Dijagram protoka podataka – prikazuje način na koji su funkcije unutar svakog funkcionalnog područja hijerarhijski organizirane na funkcije niže i više razine, kako su funkcije međusobno povezane i kako su povezane s terminatorima i spremištima podataka putem protoka podataka. Dijagram protoka podataka se radi za svako funkcionalno područje i za svaku funkciju više razine.

Definicije pojmova su potrebne kako bi se lakše shvatio nastavak rada gdje će se navedeni pojmovi koristiti.

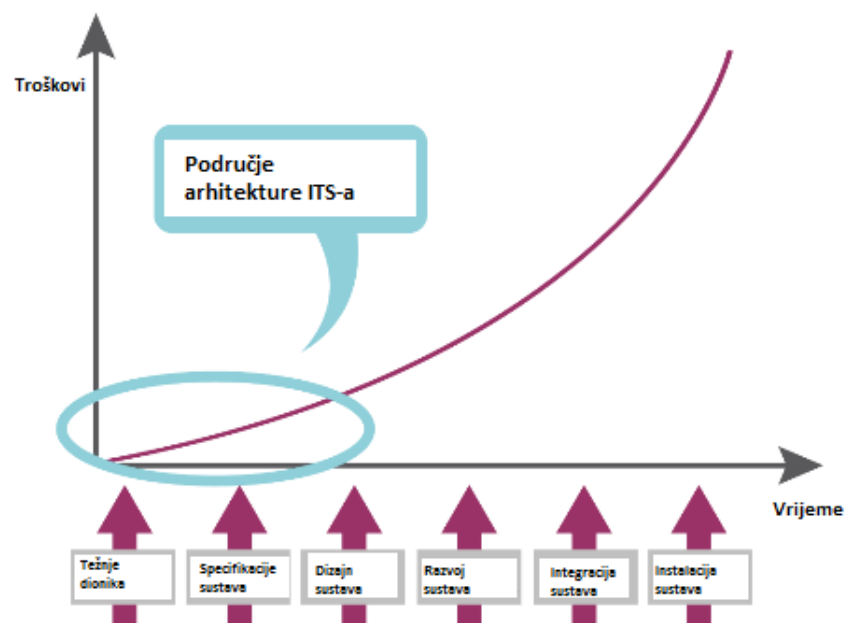
### 3.2. Arhitektura ITS-a kao dio inženjerstva sustava

Inženjerstvo sustava je interdisciplinarno područje inženjerstva čija je orijentacija na načinu dizajniranja i upravljanja kompleksnim projektima tokom njihova životnog ciklusa. Kod svih kompleksnih projekata gotovo uvijek se prvo napravi arhitektura sustava, pa je tako i kod ITS-a, arhitektura ITS-a predstavlja arhitekturu sustava. Arhitektura sustava definira strukturu, ponašanje i gledišta (engl. *Viewpoints*) sustava, odnosno na logičan način želi prikazati strukturne elemente sustava. Inženjerstvo sustava se često opisuje V-modelom životnog ciklusa sustava (Slika 7). Taj model je ime dobio zbog svog oblika, a koji omogućuje prikaz odnosa između faza razvoja i faza testiranja. Zbog toga jer se na kraju svake faze životnog ciklusa proces dokumentira i analizira, moguće je popraviti moguće greške nakon svake faze te takav model osigurava da se sustav izradi točno i da se zadovolje težnje dionika (engl. *Stakeholders*) [6].



Slika 7: V-model životnog ciklusa sustava [6]

Prilikom razvoja ITS sustava, okvirna arhitektura se koristi na početku životnog ciklusa kako bi se identificirale potrebe korisnika, odnosno težnje dionika te kako bi se napravila arhitektura ITS koja zadovoljava te potrebe, tj. težnje. Početni dio životnog ciklusa je vrlo bitan i ne bi ga se trebalo preskakati ili samo površno odraditi jer se tako može dogoditi da se krivo definiraju potrebe korisnika, težnje dionika, a time i arhitektura sustava ne bi bila točno napravljena te posljedično bi i dizajn sustava bio netočan. Taj problem je opisan pravilom nazvanim „10:100:1000“ [6] (Slika 8).



Slika 8: Pravilo "10:100:1000" [6]

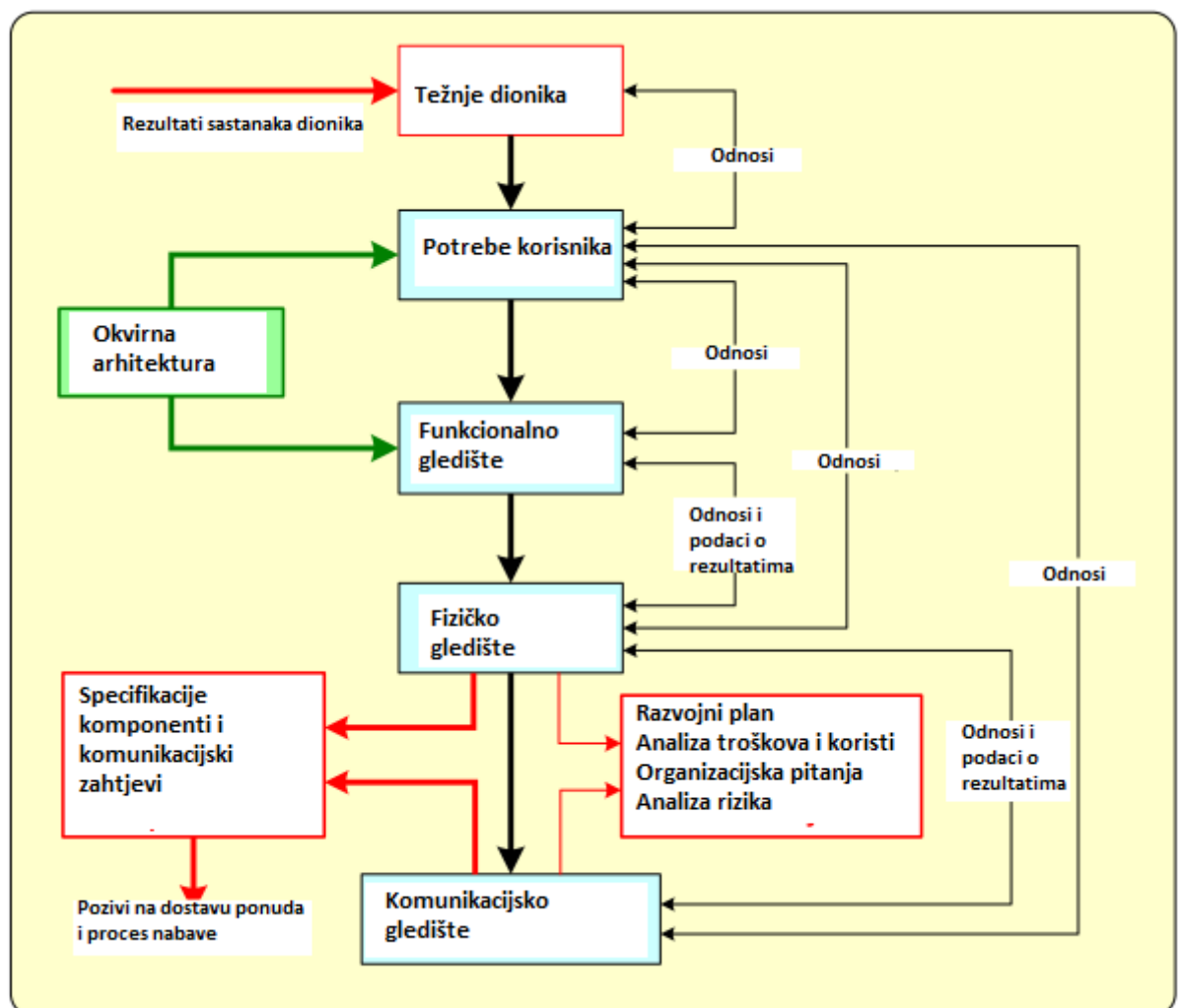
Pravilo „10:100:1000“ kaže da se troškovi ispravljanja pogreški povećavaju eksponencijalno za 10 puta tokom svake faze životnog ciklusa.

### 3.3. Metodologija okvirne arhitekture

Način na koji se koristi okvirna arhitektura se sastoji od serije sistematičnih koraka. Proces počinje sa skupljanjem podataka o tome čemu teže dionici, odnosno koje su njihove želje, a završava se kada su dovršene specifikacije komponenti i komuniciranja. Metodologija europske okvirne arhitekture (Slika 9) ne specificira uporabu određene tehnologije ili proizvoda od određenih proizvođača. Time se sprječava da arhitekture ITS-a napravljene

pomoću metodologije europske okvirne arhitekture postanu zastarjele te se ostavlja mogućnost razvoja i uporabe novih tehnologije koje bi omogućile neke nove funkcionalnosti.

Za imena dijelova metodologije europske okvirne arhitekture se koristi izraz gledišta umjesto arhitektura, a prema preporuci iz IEEE 1471 standarda [6], međutim izraz arhitektura se i dalje koristi u nekim literaturama.



Slika 9: Metodologija europske okvirne arhitekture [5]

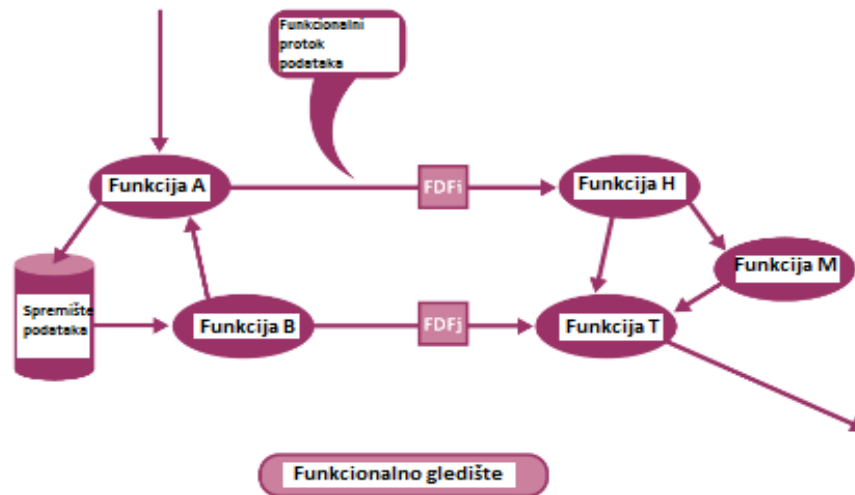
Od dionika kreće proces izrade ITS-a korištenjem europske okvirne arhitekture. Od njih se skupljaju podaci o tome koja su njihova očekivanja i koje bi oni usluge htjeli da pruža završeni ITS. Preporuka je da pri izražavanju svojih zahtjeva dionici koriste pomoć osoba koje će napraviti arhitekturu. Razlikujemo četiri osnovne skupine dionika [6]:

1. Want ITS - to je skupina korisnika koji žele da sustav riješi ili smanji prometne probleme, pruži prometne informacijske usluge korisnicima, poveća efikasnost prijevoza ljudi i roba. To su najčešće cestovni prijevoznici, javni prijevoznici itd.
2. Use ITS - to su krajnji korisnici koji će dobivene usluge i rješenja koristiti te njima upravljati. To su putnici, vozači itd.
3. Rule ITS - to su lokalne i državne službe koje izdaju pravilnike, pravnu regulativu, standarde
4. Make ITS – to su proizvođači komponenti i sustava, pružatelji komunikacijskih usluga. To može biti automobilska usluga, telekomunikacijski operateri itd.

Sljedeći korak je od podataka dobivenih od dionika napraviti dokument koji iskazuje njihove potrebe, tj. potrebe korisnika (engl. *User Needs*) na dosljedan način. FRAME arhitektura sadrži oko 800 dokumenata koji sadrže potrebe korisnika, a pokrivaju ITS aplikacije i usluge koje se mogu koristiti [5].

Funkcionalno gledište (Slika 10) prikazuje funkcije koje su potrebne da bi se ispunile potrebe korisnika. Europska okvirna arhitektura ima funkcionalno gledište koje zadovoljava sve potrebe korisnika koje su navedene u službenim dokumentima arhitekture, ali arhitekti trebaju uzeti u obzir samo one potrebe korisnika koje su povezane sa težnjama dionika [6]. U europskoj okvirnoj arhitekturi je funkcionalno gledište prikazano kao serija dijagrama protoka podataka koji sadrže funkcije, spremišta podataka i terminatora te prikazuje i protok podatka između njih [5]. Svako područje ITS-a zauzima dio funkcionalnog gledišta, a to područje se zove funkcionalno područje. U svakom funkcionalnom području se nalazi set funkcionalnosti u obliku funkcija koje su povezane jedna s drugom protokom podataka. Protok podataka spaja i funkcije sa spremištima podataka [7]. Dio funkcionalnog gledišta je i kontekstni dijagram. Kontekstni dijagram prikazuje ITS kao jednu točku te koje veze zahtjeva da bi komunikacija s vanjskim entitetima bila moguća. On postavlja granice između toga što je uključeno u ITS implementaciju, a što nije. Također omogućuje da se definira način na koji funkcionalnost unutar ITS-a očekuje da se vanjski entiteti tj. terminatori ponašaju. Funkcionalno gledište europske okvirne arhitekture je razvijeno korištenjem procesno orijentiranog pristupa, tj. metodologije, što je rezultiralo korištenjem potreba korisnika i dijagramima protoka podataka. Razlozi za korištenjem procesno orijentiranog pristupa se

kriju u tome, da se potrebe korisnika sažimaju u jednu rečenicu, a dijagrami protoka podataka se koriste jer se primjenjuju kod cjevovodnog modela funkcija koji najbolje opisuje implementacije ITS na razini arhitekture [6].



Slika 10: Funkcionalno gledište [3]

Nakon što bude napravljeno funkcionalno gledište, svaka se funkcija i spremište podataka dodjeljuju podsustavu ili modulu koji je dio podsustava. Lokacija te sadržaj podsistema i modula mogu varirati od jednog fizičkog gledišta do drugog. Nakon što su podsistemi i moduli napravljeni te su im pridodane funkcije i spremišta podataka, mogu se napraviti specifikacije komponenata, odnosno mogu se uključiti u pozive na dostavu ponuda, što omogućuje nabavu komponenata [7]. Kontekstni dijagram korišten kod funkcionalnog gledišta, može se primijeniti i kod fizičkog gledišta.

Iz dodavanja (spajanja) funkcija i spremišta podataka podsistemima ili modulima je vidljivo koji je funkcionalni protok podataka unutar podsistema ili modula, a koji funkcionalni protok podataka spaja različite podsisteme ili module. Onaj protok podataka koji spaja podsisteme ili module tvori fizički protok podataka i predstavlja komunikacijski kanal između podsistema i između modula. Zbog toga jer se podsistemi nalaze na različitim mjestima, analizom fizičkih protoka podataka je moguće napraviti specifikacije komuniciranja. Zatim se

te specifikacije mogu usporediti sa već postojećim komunikacijskim standardima te odrediti koji je komunikacijski standard najpogodniji ili može poslužiti kao osnova za prijedlog novog komunikacijskog standarda [7].

Važna osobina metodologije europske okvirne arhitekture je mogućnost da se cijeli proces može pratiti. Zbog toga se u fizičkom gledištu može vidjeti povezanost između težnji dionika i podsistema i modula. To omogućuje da se mogu identificirati komponente koje su važne da bi se zadovoljile težnje dionika.

Nakon što je arhitektura ITS-a napravljena, ona se može koristiti kao podloga za određene analize utjecaja implementacije njenog sadržaja, a to su npr. analiza troškova i koristi i analiza rizika. Analiza troškova i koristi se radi na temelju veličine kapitala, operativnih troškova komponenti i komunikacijskih veza te koristi koje donosi implementacija ITS-a. Analiza rizika se koristi da bi se ocijenila opravdanost projekta i da bi se napravili strategije smanjenja rizika.

## **4. KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA**

Europska komunikacijska arhitektura ITS-a opisuje i definira oblike komuniciranja između različitih dijelova sustava, tj. načine na koje se informacije razmjenjuju između entiteta, te se nalazi unutar fizičke arhitekture ITS-a. Europska komunikacijska arhitektura je orijentirana prema kooperativnim sustavima, za čiji su razvoj potrebni uobičajeni i standardizirani oblici komunikacije između raznih komponenti sustava, a koje se mogu nalaziti u vozilima ili infrastrukturi. Europska komunikacijska arhitektura je razvijena kroz projekt Comesafety, koji je financirala Europska komisija. Cilj komunikacijske arhitekture je osigurati da komponente, tj. sustavi različitih proizvođača (npr. proizvođači automobila) i pružatelja usluga (npr. telekomunikacijski operateri) funkcioniraju međusobno prvenstveno na siguran način, što pak dovodi i do sigurnih, zaštićenih i interoperabilnih kooperativnih sustava. Komunikacijska arhitektura kooperativnih sustava bavi V2X (svi tipovi komunikacije od i prema vozilu) komunikacijom, a ona uključuje vozilo-vozilo (V2V) komunikaciju, vozilo-infrastruktura uz prometnicu (V2R – R2V) komunikacije te vozilo-infrastruktura (V2I – I2V) komunikaciju [8]. Komunikacijska arhitektura. U okviru informacijskih i komunikacijskih tehnologija, komunikacijska arhitektura predstavlja dogovoreni način organizacije dijelova sustava kako bi se osigurala njihova funkcionalnost, pa tako definira zaštitne mjere kako bi se spriječile neovlaštene izmjene sustava, različite tehnologije koje će biti korištene za komunikaciju i slično. Komunikacijska arhitektura daje svoj doprinos i razvoju različitih standarda koji će se koristiti u ITS-u [9].

### **4.1. Terminologija**

Termini objašnjeni u ovom potpoglavlju se koriste za opisivanje mrežnih entiteta koji su uključeni u komunikacijski sustav.

- Čvor - računalo koje ima adresu u komunikacijskoj mreži

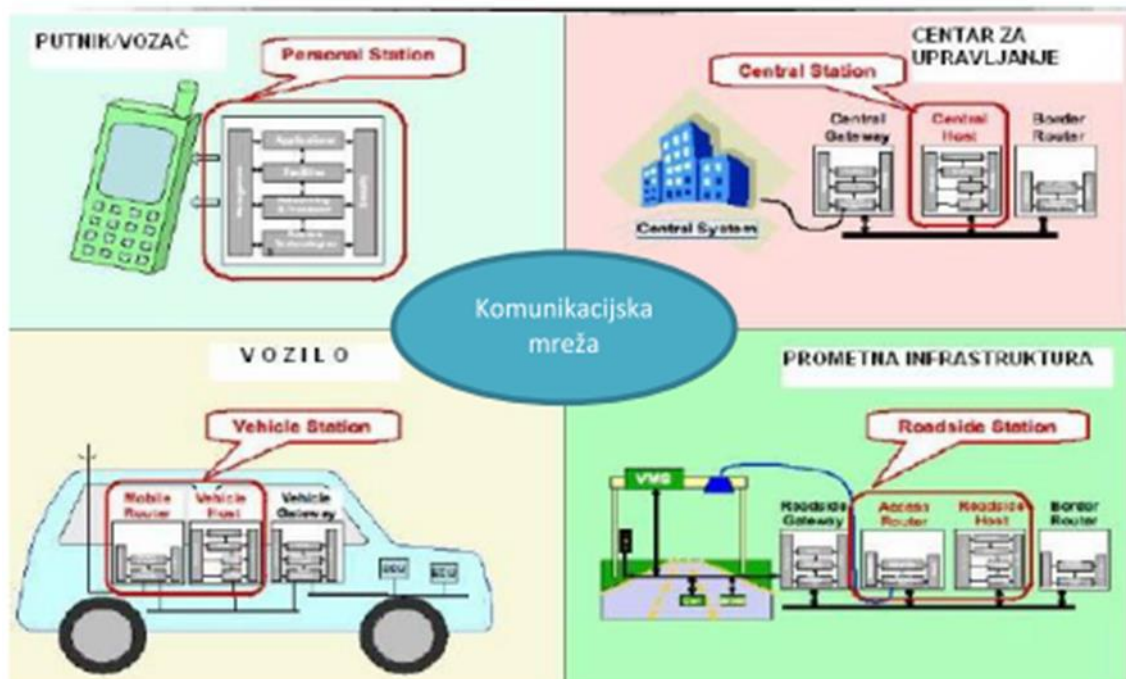


- Ruter - predstavlja čvor koji prosljeđuje pakete drugom čvoru u komunikacijskoj mreži koji mu nisu nužno upućeni
- Host (domaćin) - bilo koji čvor koji nije ruter
- Gateway (prolaz) - čvor (host ili ruter) koji može prenositi informacije ima između komunikacijske mreže i posvećene ITS specifične mreže u oba smjera
- Mobilni čvor - čvor koji može mijenjati svoju točku povezivanja sa jednog linka na drugi uz održavanje sjednice
- Pristupna mreža - je mreža koja se nalazi na rubu komunikacijske mreže te mobilnim čvorovima omogućava pristup
- Granični ruter - nalazi se na rubovima lokalne mreže i povezuju je na temeljnu komunikacijsku mrežu
- Pristupni ruter - smješten je na rubu pristupne mreže i služi za povezivanje jedne ili više pristupnih točaka. Omogućuje mobilnom ruteru pristup mreži
- Mobilni ruter - ruter koji je sposoban promijeniti svoju točku povezivanja na komunikacijsku mrežu te se kreće od jednog pristupnog rutera do drugog neovisno o tome pripada li istoj ili različitoj pristupnoj mreži
- Host uz prometnu infrastrukturu - smješten je u komponenti podsustava uz prometnu infrastrukturu
- Host vozila - smješten je u komponenti podsustava vozila
- Centralni host - smješten je u komponenti centralnog podsustava
- Gateway uz prometnu infrastrukturu - host koji djeluje kao gateway između ITS komunikacijskog sustava i sustava uz prometnu infrastrukturu
- Gateway vozila – host koji djeluje kao gateway između ITS komunikacijskog sustava i sustava u vozilu
- Centralni gateway – host koji djeluje kao gateway između ITS komunikacijskog sustava i sustava u vozilu

Tu su navedeni i opisani samo osnovni termini potrebni za razumijevanje dijela komunikacijske arhitekture ITS-a gdje će biti upotrijebljeni.

## 4.2. Funkcionalni elementi komunikacijske arhitekture ITS-a

Komunikacijska arhitektura se sastoji od četiri osnovne komponente koje su fizički odvojene, a svaka komponenta sadrži i stanicu ITS-a. Osnovne komponente su međusobno povezane komunikacijskom mrežom (Slika 11), na žični ili bežični način, a koja se sastoji od temeljne (engl. *Backbone*) mreže, određenog broja rubnik i pristupnih mreža. Komunikacijska mreža omogućuje razmjenu informacija između komponenti. Kroz komunikacijsku mrežu se može povezati neograničen broj elemenata svake komponente. Tako se može povezati neograničen broj automobila, mobilnih uređaja, centralnih servera i servera uz prometnu infrastrukturu ukoliko to sustav zahtjeva.



Slika 11: Prikaz komunikacijske mreže [10]

### 4.2.1. Osnovne komponente komunikacijske arhitekture ITS-a

Osnovne komponente komunikacijske arhitekture su [9]:

1. Podsustav vozila
2. Podsustav uz prometnu infrastrukturu
3. Centralni podsustav

#### 4. Mobilni podsustav

**Podsustav vozila** sadrži stanicu ITS-a vozila te može imati i presretače stanice ITS-a. Presretači stanice ITS-a u podsustavu vozila su najčešće gateway stanice ITS-a vozila i ruter stanice ITS-a. Gateway stanice ITS-a vozila povezuje komponente korisnikove mreže sa unutarnjom mrežom stanice ITS-a.

**Podsustav uz prometnu infrastrukturu** ima stanicu ITS-a uz prometnu infrastrukturu i može sadržavati presretače stanice ITS-a. Presretači stanice ITS-a u podsustavu uz prometnu infrastrukturu su gateway stanice ITS-a uz prometnu infrastrukturu, ruter stanice ITS-a te granični ruter stanice ITS-a. Gateway stanice ITS-a uz prometnu infrastrukturu povezuje komponente sustava uz prometnu infrastrukturu, a koje se nalaze u korisničkoj mreži, sa unutarnjom mrežom stanice ITS-a.

**Centralni podsustav** ima centralnu stanicu ITS-a i može imati presretače stanice ITS-a. Presretači stanice ITS-a u centralnom podsustavu su centralni gateway stanice ITS-a i granični ruter stanice ITS-a. Centralni gateway stanice ITS-a povezuje komponente centralnog sustava sa unutarnjom mrežom stanice ITS-a.

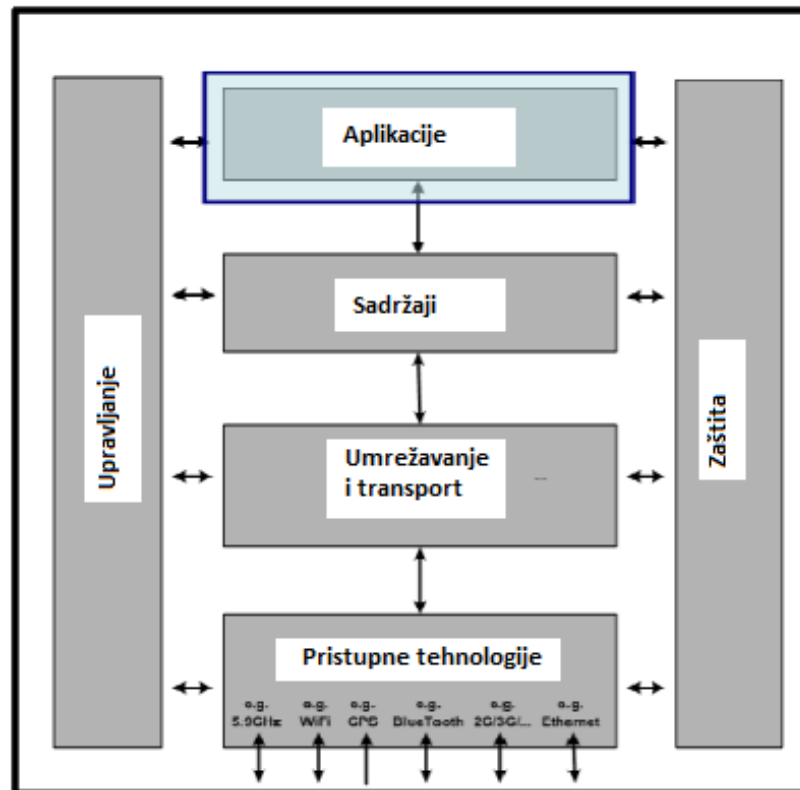
Mobilni podsustav sadrži mobilnu stanicu ITS-a te omogućava primjenu aplikacijskih i komunikacijskih funkcionalnost ITS-a u prijenosnim uređajima, poput mobilnih telefona i tableta.

##### 4.2.2. Referentna arhitektura stanice ITS-a

Stanicu ITS-a ima svaka komponenta komunikacijske arhitekture, a to su stanica vozila, stanica uz prometnu infrastrukturu, centralna stanica i mobilna (osobna) stanica. Stanica ITS-a sadrži određeni broj specifičnih funkcija ITS-a i set uređaja koji omogućuju implementaciju tih funkcija.

Referentna arhitektura stanice ITS-a (Slika 12) objašnjava funkcionalnosti koje imaju stanice ITS-a, a koje se nalaze u podsustavima ITS-a. Ona je bazirana na principima referentnog modela za otvoreno povezivanje sustava OSI (engl. *Open System Interconnection - Basic Reference Model*) koji se odnosi na slojevite komunikacijske protokole. OSI model

služi kao vodič za razvoj sustava koji trebaju međusobno komunicirati [12]. Stanica ITS-a je opisana pomoću tri bloka (sloja), unutar kojih su definirani OSI slojevi na način prilagođen komunikacijskoj arhitekturi ITS-a te bloka aplikacija i dva entiteta [11].

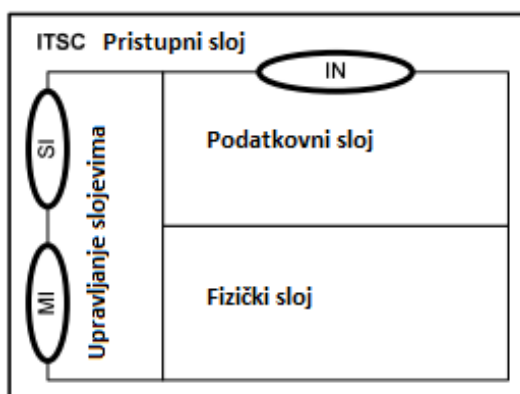


Slika 12: Referentna arhitektura stanice ITS-a [8]

Blokovi:

1. „Pristupni“ (engl. *Access*)

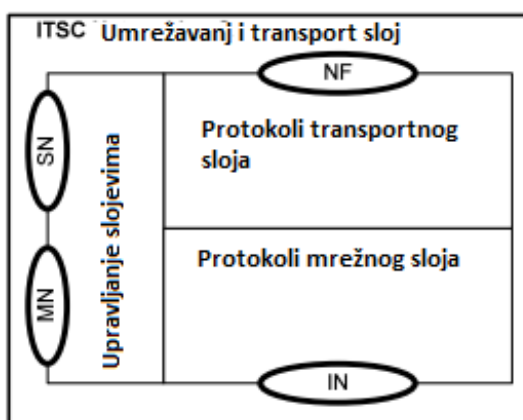
- predstavlja slojeve jedan i dva OSI-a (Slika 13), odnosno fizički sloj i podatkovni sloj. Fizički sloj se spaja fizički na komunikacijsko sredstvo, dok se podatkovni sloj može podijeliti na dva podsloja, a to su podsloj MAC (engl. *Media Access Control*) koji upravlja pristupom komunikacijskom sredstvu te podsloj LLC (engl. *Logical Link Control*). S oba sloja upravlja upravitelj slojevima pristupnog bloka.



Slika 13: Pristupni sloj [11]

2. „Umrežavanje i transport“ (engl. *Networking and transport*)

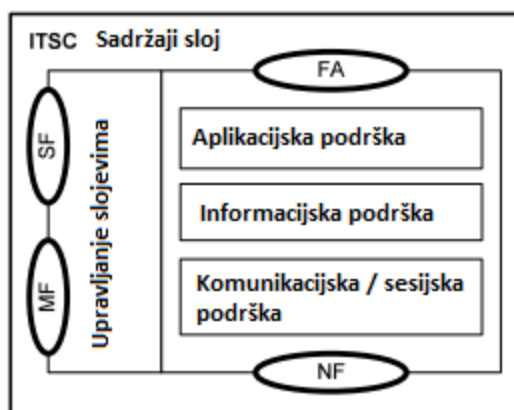
- predstavlja slojeve tri i četiri OSI-a (Slika 14), a to su mrežni sloj i transportni sloj. Blok umrežavanje i transport ima funkcionalnosti od OSI mrežnog i transportnog sloja koje su prilagođene komunikacijskoj arhitekturi ITS-a. Pa tako ima jednog ili više mrežnih i transportnih protokola i upravitelja slojevima



Slika 14: "Umrežavanje i transport" sloj [11]

3. „Sadržaji“ (engl. *Facilities*)

- predstavlja slojeve pet, šest i sedam OSI-a (Slika 15). To su aplikacijski sloj sesije, prezentacijski sloj i aplikacijski sloj. U komunikacijskoj arhitekturi oni predstavljaju aplikacijsku, informacijsku, komunikacijsku i sesijsku podršku te upravitelja bloka sadržaja. Blok „sadržaji“ pruža podršku aplikacijama ITS-a koje mogu dijeliti generičke funkcije i podatke



Slika 15: "Sadržaji" sloj [11]

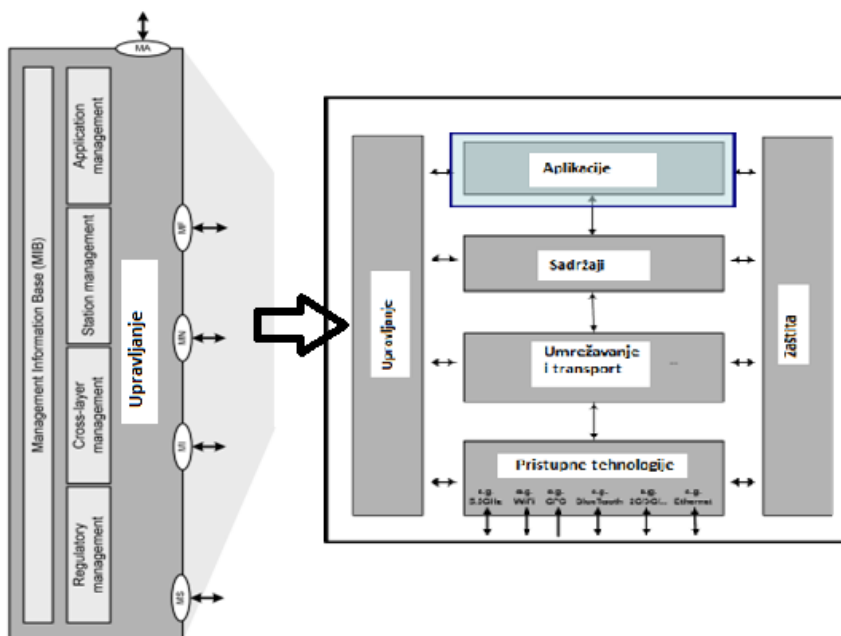
#### 4. „Aplikacije“

- Služi da bi se aplikacije stanica ITS-a međusobno povezivale preko usluga stanice ITS-a. Dvije ili više komplementarnih aplikacija stanica ITS-a čine jednu aplikaciju ITS-a koja pruža uslugu ITS-a korisniku ITS-a

Entiteti:

#### 1. Upravljanje (engl. *Management*) (Slika 16)

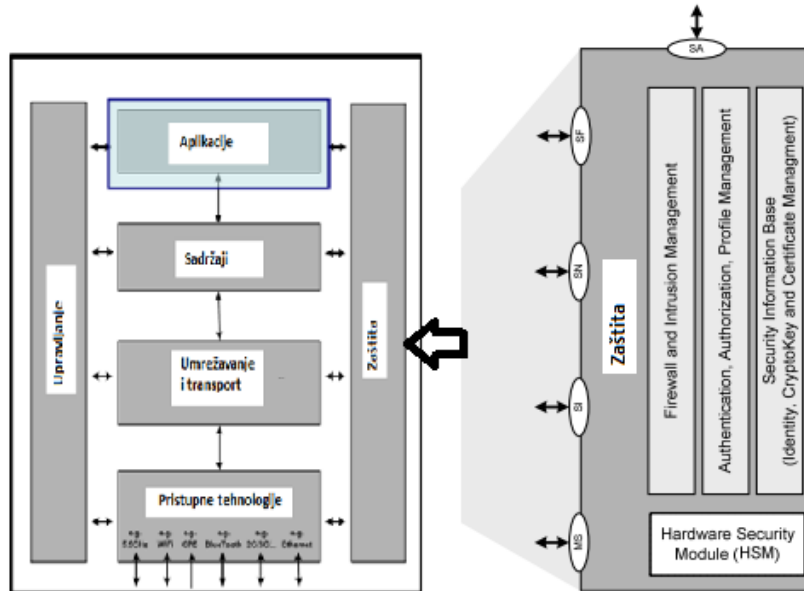
- zadužen je za upravljanje komunikacijama u stanici ITS-a



Slika 16: Entitet upravljanje [11]

#### 2. Zaštita (engl. *Security*) (Slika 17)

- zaštićuje komunikacijski stog protokola, stanicu ITS-a te ITS aplikacije, a na način da kontrolira i upravlja vatrozidom, autentikacijom, autorizacijom, certifikatima, kriptu ključevima i sl.



Slika 17: Entitet zaštita [11]

Funkcionalne komponente stanice ITS-a su host, gateway, ruter i granični ruter [11].

Host stanice ITS-a sadrži minimalan broj aplikacija i funkcionalnosti referentne arhitekture stanice ITS-a potrebnih za aplikacije stanice ITS-a.

Gateway stanice ITS-a spaja različite protokole OSI-a u slojevima pet, šest i sedam te je sposoban konvertirati protokole.

Ruter stanice ITS-a spaja dvije različite grupe protokola ITS-a u trećem sloju i može konvertirati protokole, a jedna od grupa protokola ITS-a koje spaja je povezana sa unutarnjom mrežom stanice ITS-a.

Granični ruter stanice ITS-a ima istu funkciju kao i ruter, ali s razlikom da grupa protokola koja je spojena na vanjsku mrežu ne mora poštovati principe upravljanja i zaštite ITS-a.

### 4.3. Područja primjene komunikacijske arhitekture

Postoje tri osnovna područja primjene komunikacijske arhitekture te su za svako područje definirane klase.

Područja primjene i pripadajuće klase aplikacija [8]:

1. Sigurnost u prometu (*engl. Traffic Safety*)
  - Aplikacije svjesnosti
  - Aplikacije upozorenja
2. Prometna učinkovitost (*engl. Traffic Efficiency*)
  - Učinkovitost na međugradskoj razini
  - Učinkovitost na gradskoj razini
  - Aplikacije za teret i flotu
3. Usluge dodane vrijednosti (*engl. Value Added Services*)
  - Pristup lokalnim mrežama
  - Brzi pristup internetu

Aplikacije sigurnosti u prometu podržavaju usluge poput upozorenja praćenja prometnog traka, upravljanja brzinom kretanja, detekcije prometnog zagušenja i sl. Aplikacije prometne učinkovitosti podržavaju usluge poput promjenjivih prometnih znakova, rutiranja, navigacije, optimizacije prometnog toka, upravljanja vozilima za opasan teret itd., a aplikacije koje podržavaju usluge dodane vrijednosti mogu uključivati pružanje servisnih informacija s prometnice, pružanje usluga informiranja i sl.

### 4.4. Scenariji komunikacijske arhitekture

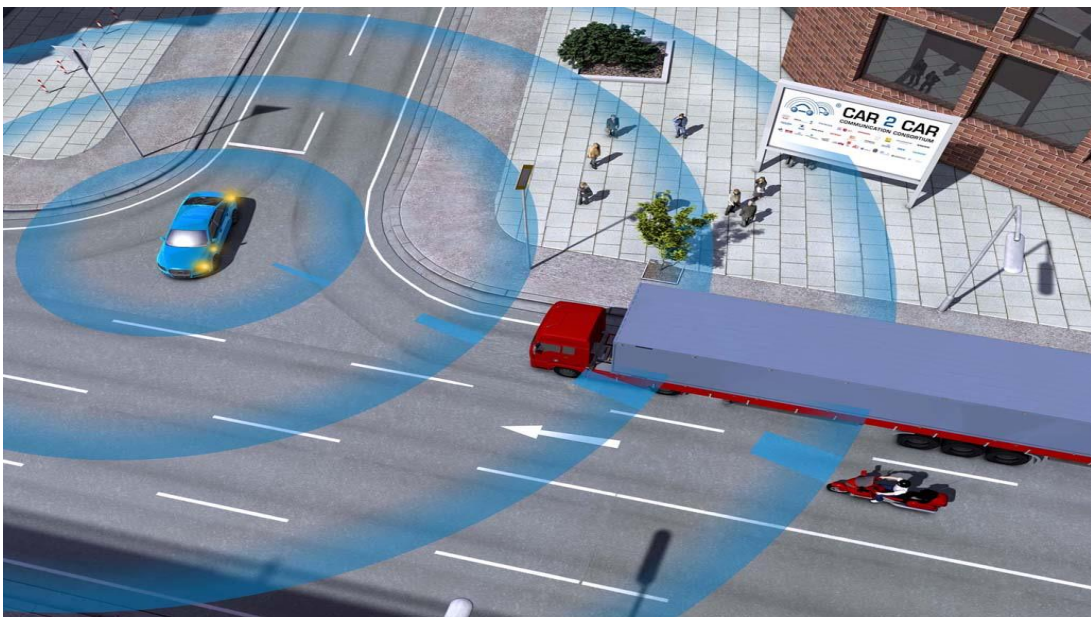
Ovisno o strukturi i potrebama komunikacije između pojedinih komponenti komunikacijske arhitekture, postoje različiti scenariji komunikacijske arhitekture. Osnovne komunikacijske poveznice u scenarijima komunikacijske arhitekture su V2V (*engl. vehicle-to-vehicle*), V2I (*engl. vehicle-to-infrastructure*) te V2R (*engl. vehicle-to-roadside*).

Postoji više načina na koji se odvija V2V, V2I i V2R komunikacija. Tako se V2V komunikacija može odvijati bez ikakvih drugih komponenti odnosno infrastrukture osim



vozila preko ad-hoc sustava, dok se V2I komunikacija odvija preko bežičnih sustava poput CEN DSRC-a.

Primjer V2V komunikacije je kada se vozilo približava raskrižju iz sporedne ulice, a istom raskrižju se po glavnoj cesti približava motocikl, ali vozač vozila iz sporedne ulice ne vidi motocikl zbog zaklonjenog pogleda (Slika 18). Dolaskom do raskrižja vozač vozila dobiva upozorenje o dolasku motocikla na raskrižje po glavnoj cesti te vozač motocikla također dobiva upozorenje o dolasku auta na raskrižje. Ovom komunikacijom između dva vozila se smanjuje mogućnost nesreće [13].



Slika 18: V2V komunikacija, [13]

Kao primjer V2I komunikacije možemo navesti slanje obavijesti vozaču motocikla kojom brzinom treba voziti da bi na sljedećem semaforiziranom raskrižju na koje nailazi prošao za vrijeme trajanja zelenog svjetla, odnosno dok ima pravo na slobodan prolaz. Također vozilo može od infrastrukture primiti obavijest o vremenskom signalnom planu na temelju kojeg vozilo izračunava brzinu kojom treba ići da bi došlo na semaforizirano raskrižje kada ima slobodan prolaz, a to se rješava tako što je semaforizirano križanje povezano sa komunikacijskom jedinicom uz infrastrukturu, te semaforizirano križanje šalje informacije jedinici, a ona prosljeđuje informacije vozilima u njoj blizini. Naravno to mogu biti i informacije poput topologije raskrižja, a ne samo signalni plan.

## 5. KOMUNIKACIJSKI STANDARDI U KOMUNIKACIJSKOJ ITS ARHITEKTURI

U komunikacijskoj arhitekturi ITS-a, bežične tehnologije se primarno koriste kao vanjska sučelja stanice ITS-a. Dio su pristupnog bloka stanice ITS-a, a koji se sastoji od dva sloja ISO OSI stoga, fizičkog (engl. *Physical*) sloja i podatkovnog (engl. *the Data Link*) sloja. Pristupnim blokom se upravlja pomoću MI-SAP-a (sučelje između entiteta upravljanja i pristupnog sloja), preko kojeg se nude fizička sučelja (outputi) sa određenim pristupnim tehnologijama za komunikaciju (inputi). SI-SAP (sučelje između zaštitnog entiteta i pristupnog sloja) se brine o sigurnosti te sadrži dinamičke MAC adrese za zaštitu privatnosti. IN-SAP je sučelje koje povezuje pristupni blok s blokom za umrežavanje i prijenos [8].

U pristupnom bloku možemo razlikovati dvije vrste pristupnih tehnologija. Pristupne tehnologije koje koriste komunikacijsku infrastrukturu i koje ne koriste. Komunikacijska infrastruktura se odnosi na pristupne točke (npr. WLAN mreže) i bazne stanice (npr. GSM mreže). Mreža koja se sastoji od komunikacijske infrastrukture, istu mora i koristiti, što znači da nema peer-to-peer komunikacije i direktne komunikacije između vozila te je latencija duža. Mreže koje ne koriste pristupne točke i bazne stanice se nazivaju ad-hoc sustavi i one podržavaju peer-to-peer komunikaciju i direktnu komunikaciju između vozila odnosno komunikaciju između glavnog (master) i podređenog (slave) poslužitelja.

U ovom poglavlju osvrst će biti na sustave kratkog dometa, ad-hoc sustave i ćelijske sustave.

### 5.1. Parametri radio sustava

Kod pregleda radio sustava, koristi se određeni broj parametara koji se smatraju bitnima za kooperativne automobilske sustave [8].

1. Standard – pod ovim parametrom je naznačeno ako je radio sustav zasnovan na nekom standardu ili koristi određeni standard
2. Antena – ukoliko je potrebna samo jedna antena, to je označeno ovdje pod „krovna“ (engl. *Rooftop*), također je naznačeno i ukoliko je potrebno više antena na određenim mjestima

3. Frekvencijski pojas – ovdje su naznačeni frekvencijski pojasevi koji se koriste, koji su rezervirani i koji su u planu na području Europe. Tu je označeno i ako se drugačiji frekvencijski pojasevi koriste u Americi ili Aziji
4. Kanali (broj, veličina, odvojenost, kontrolni kanalni i podatkovni kanali) – označeno je kako se koristi frekvencijski spektar
5. Izlazna snaga (mogućnost kontrole snage) – tu je označena maksimalna dozvoljena izlazna snaga, spektralna maska te bilo kakva potencijalna kontrola snage
6. Brzina prijenosa podataka (uključuje doseg i latenciju) – tu se označava brzina prijenosa podataka u bitovima po sekundi. Doseg se odnosi na kvalitetu primljenih podataka, a latencija označuje vrijeme koje je prošlo od početka prijenosa paketa podataka do početka primanja paketa podataka na završnom čvoru
7. MAC (engl. *media access control*) – MAC protokol odlučuje tko smije odašiljati na dijeljenom bežičnom kanalu
8. Načini prijenosa (usmjereni, jednosmjerni ili dvosmjerni, emitiranje (engl. *broadcast*), *peer-to-peer*) – radio signal može biti usmjeren u jednom smjeru ili u svim smjerovima istovremeno. Komunikacija se jednosmjerno preko master/slave sustava ili sustava emitiranja, dok se dvosmjerno odvija u ad-hoc ili ćelijskim sustavima. Radio sustav može ili ne mora podržavati emitiranje i direktnu *peer-to-peer* komunikaciju
9. Zahtjevi – tu je naznačeno ako je za komunikaciju potrebno još nešto osim antene i stanice
10. Smetnje (engl. *interference*) (unutar i između sustava) – unutarnji faktori koji limitiraju sustav se odnose na smetnje unutar sustava, dok se ispreplitanje dva različita radio sustava odnosi na smetnje između sustava

Navedeni i objašnjeni parametri pomažu pri odabiru najpogodnijeg radio sustava za kooperativne sustave. Pomoću tih parametara se određuje koji su radio sustavi pogodni V2V, a koji za V2I komunikaciju.

## 5.2. Sustavi kratko dometa i ad-hoc sustavi

Sustavi kratkog dometa često koriste privremenog glavnog poslužitelja te se stoga komunikacija odvija između glavnog poslužitelja i njemu podređenih poslužitelja, dok ad-hoc sustavi koriste direktnu peer-to-peer komunikaciju. Oba sustava koriste dvosmjernu komunikaciju i nemaju ćelijsku strukturu [8]. Sustavi kratkog dometa su CEN DSRC 5.8 GHz i IR (engl. *Infrared*), a ad-hoc sustavi su European 5.9 GHz ITS i WLAN 5 GHz. Kratak osvrt će biti na CEN DSRC 5.8 GHz sustav i na European 5.9 GHz ITS sustav.

### 5.2.1. CEN DSRC 5.8 GHZ

To je radio sustav koji se najčešće koristi kod sustava za elektroničku naplatu cestarine (engl. *Electronic Toll Collection – ETC*). Kod ovog sustava se stanica uz prometnu infrastrukturu koristi kao glavni poslužitelj, a osobne stanice i stanice u vozile se koriste kao podređeni poslužitelji.

1. Standard – treba podržavati europske standarde: EN12253-2004 (DSRC L1), EN12795 (DSRC L2), EN12834 (DSRC podrška aplikacijama), EN13372 (DSRC profili)
2. Antena – krovna (po europskom standardu EN12253)
3. Frekvencijski pojas – ECC/DEC(02)01 i CEPT/ERC REC 70-03: 10 MHz u rasponu 5.795-5.805 GHz i 10 MHz na nacionalnoj bazi s individualnim licencom u rasponu 5.805-5.815 GHz
4. Kanali (broj, veličina, odvojenost, kontrolni kanalni i podatkovni kanali) – 20 MHz u rasponu 5.795-5.805 GHz je podijeljeno na četiri kanala s razmakom od 5 MHz između kanala, stoga su centralne frekvencije 5.7975 GHz, 5.8025 GHz, 5.8075 GHz i 5.8125 GHz. Neke zemlje dozvoljavaju samo dva kanala s razmakom od 10 MHz i centralnim frekvencijama 5.800 GHz i 5.810 GHz
5. Izlazna snaga (mogućnost kontrole snage) – maksimalna izlazna snaga je 33 dBm EIRP. Korištenjem 8 W EIRP omogućuje se prijenos od 1 Mbps prema

ETSI standardu ES 200 674 – 1, a korištenjem 2 W EIRP omogućuje se preuzimanje podataka brzinom od 500 kbps i slanje podataka brzinom od 250 kbps prema ETSI standardu EN 300 674-1. Za niske brzine prijenosa podataka definirana je brzina od 31 kbps prema ETSI standardu EN 300 674-2

6. Brzina prijenosa podataka (uključuje doseg i latenciju) – prema ETSI standardu EN 300 674-2 brzina preuzimanja je 500 kbps, a brzina slanja je 250 kbps. Domet je od 3-15 metara. Vrijeme spajanja je od 5-12 ms. Latencija je 10 ms
7. MAC – TDMA, stanica uz prometnu infrastrukturu je glavni poslužitelj (master) , dok su stanice u vozilima i osobne stanice podređeni poslužitelji (slaves)
8. Načini prijenosa (usmjereni, jednosmjerni ili dvosmjerni, emitiranje, peer-to-peer) – direktni, dvosmjerni, jednosmjerno emitiranje iz stanice uz prometnu infrastrukturu prema stanicama u vozilima. Nema peer-to-peer prijenosa
9. Zahtjevi – zahtjeva stanicu uz prometnu infrastrukturu
10. Smetnje (unutar i između sustava) – zbog toga jer su stanice uz prometnu infrastrukturu glavni poslužitelji, smetnje unutar sustava se mogu kontrolirati pravilnim smještajem stanica uz prometnu infrastrukturu. Smetnje između sustava može izazvati komunikacijska oprema ITS-a koja radi na frekvencijskom pojasu od 5.9 GHz

CEN DSRC sustav je prilagođen za skupljanje informacija od vozila u vožnji te također za slanje raznih informacija, poput vremenskih uvjeta, prema vozilima.

### **5.2.2. European 5.9 Ghz ITS**

Osnova ovog sustava je WLAN standard. Orijentiran je na ad-hoc prijenos podataka između stanica u vozilima i između stanica uz prometnu infrastrukturu i stanica u vozilima.

1. Standard – IEEE 802.11p
2. Antena – krovna
3. Frekvencijski pojas – ECC/DEC/(08)01 – 5875-5905 MHz za aplikacije sigurnosti cesta ITS-a, ostavljena mogućnost za proširenje na raspon 5095-5925 MHz. ECC/DEC/(08)01 – 5855-5875 MHz za aplikacije ITS-a koje se ne odnose na sigurnost (engl. *Non-safety*). SAD koriste 75 MHz u rasponu 5850-5925 MHz, a Japan koristi 80 MHz u rasponu 5770-5850 MHz
4. Kanali (broj, veličina, odvojenost, kontrolni kanalni i podatkovni kanali) – 30 MHz u rasponu 5875-5905 MHz koji su raspodijeljeni na 3 pod-kanala od 10 MHz. Pod-kanal SHC 1 se koristi za poruke sigurnosti i učinkovitosti, pod-kanal SHC 2 se koristi za poruke između vozila i stanica uz prometnu infrastrukturu, a treći pod-kanal je kontrolni kanal CCH i koristi se vremenski hitne poruke
5. Izlazna snaga (mogućnost kontrole snage) – maksimalna spektralna gustoća snage (engl. *Spectral Power Density*) je 23 dBm/MHz EIRP, a maksimalna snaga ne prelazi 33 dBm EIRP s dosegom TPC-a (engl. *Transmit Power Control*) od 30 dB
6. Brzina prijenosa podataka (uključuje doseg i latenciju) – standard IEEE 802-11p podržava brzine od 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 i 27 Mbps u 10 MHz kanalima. Domet je 500 metara pri maksimalnoj snazi i minimalnom prijenosu podataka. Latencija ovisi implementaciji
7. MAC – standard IEEE 802.11p poboljšán sa EDCA iz standarda IEEE 802.11e te ne podržava komunikaciju u realnom vremenu zbog toga jer je standard IEEE 802.11p temeljen na standardu IEEE 802.11, a koji koristi CSMA.
8. Načini prijenosa (usmjereni, jednosmjerni ili dvosmjerni, emitiranje, peer-to-peer) – u svim smjerovima (engl. *omni-directional*), dvosmjerni, dvosmjerno emitiranje, peer-to-peer (bez korištenja komunikacijske infrastrukture)
9. Zahtjevi – Nema

10. Smetnje (unutar i između sustava) – CSMA kod MAC-a može uzrokovati smetnje unutar sustava, a smetnje između sustava se mogu dogoditi zbog CEN DSRC-a, te u rasponu od 5.855-5.875 GHz koji se koristi za ne sigurnosne aplikacije, može doći do smetnji zbog drugih aplikacija

Koristi se za aplikacije iz klase sigurnosti u prometu i V2V komunikaciju.

### **5.3. Čelijski sustavi**

Čelijski sustavi su sustavi čija je mrežna topologija čelijska te koriste komunikacijsku infrastrukturu, tj. bazne stanice ili pristupne točke. Komunikacija se odvija između stanica u vozilu, stanica uz prometnu infrastrukturu i osobnih stanica, a posrednik su pristupne točke ili bazne stanice. Komunikacija je dvosmjerna asimetrična. Sustavi prijenosa podataka WiFi i WiMAX koriste pristupne točke, a telekomunikacijski sustavi GSM, GPRS i UMTS koriste bazne stanice.

#### **5.3.1. Bežična mreža**

Bežična mreža WiFi (engl. *Wireless Fidelity*) je radio sustav fokusiran na prijenosa podataka velikim brzinama i koristi se pristupnim točkama. Osnova mu je WLAN sustav te se koristi za pristup internetu i brzi prijenos podataka pri prosječnim brzinama vozila.

1. Standard – treba podržavati IEEE 802.11a/b/g standard
2. Antena – krovna
3. Frekvencijski pojas – 5 GHz (IEEE 802.11a) i 2.4 GHz (IEEE 802.11a/g)
4. Kanali (broj, veličina, odvojenost, kontrolni kanalni i podatkovni kanali) – 12-13 kanala koji se ne preklapaju

5. Izlazna snaga (mogućnost kontrole snage) – 17 dBm/MHz EIRP, 30 dBm maksimalni EIRP. TPC sa faktorom smanjenja od 3 dB ili opće smanjenje snage za 3 dB
6. Brzina prijenosa podataka (uključuje doseg i latenciju) – Maksimalno 54 Mbps prema standardu IEEE 802.11a/g. Domet treba pokrivati pristupne točke. Latencija ovisi o implementaciji
7. MAC – komunikacija u stvarnom vremenu ako se koriste pristupne točke, no nema je kod korištenja IEEE 802.11a standarda
8. Načini prijenosa (usmjereni, jednosmjerni ili dvosmjerni, emitiranje, peer-to-peer) – u svim smjerovima, dvosmjerni, emitiranje, nema peer-to-peer prijenosa.
9. Zahtjevi – pristupne točke
10. Smetnje (unutar i između sustava) – CSMA MAC metoda može uzrokovati smetnje unutar sustava, a WLAN 5 GHz može uzrokovati smetnje između sustava

Korisnici se WiFi-em spajaju na internet putem WLAN-a i bežične pristupne točke. WiFi nije siguran poput žičnih mreža zbog toga jer se za neovlašten upad nije potrebno spojiti na neku fizičku točku.

### **5.3.2. GSM/GPRS**

GSM/GPRS sustavi koriste se baznim stanicama za prijenos podataka. GSM je napravljen za glasovne aplikacije, dok GPRS, ekstenzija GSM-a, napravljen za prijenos podataka.

1. Standard – GSM standard
2. Antena – krovna



3. Frekvencijski pojas – 900 MHz (slanje u pojasu 890-915 MHz, preuzimanje u pojasu 935-960 MHz), 1800 MHz (slanje u pojasu 1710-1785 MHz, preuzimanje u pojasu 1805-1880 MHz)
4. Kanali (broj, veličina, odvojenost, kontrolni kanalni i podatkovni kanali) – 25 MHz u pojasu od 900 MHz je podijeljeno na 124 kanala koji su udaljeni 200 kHz
5. Izlazna snaga (mogućnost kontrole snage) – prijenosna snaga je limitirana na maksimalno 2 W u pojasu GSM850/900 i 1 W u pojasu GSM1800/1900
6. Brzina prijenosa podataka (uključuje doseg i latenciju) – brzina preuzimanja 60-80 kbps, a brzina slanja 20-40 kbps. Domet ovisi o baznim stanicama (maksimalni domet bazne stanice je 35 km). Latencija je od 500-700 ms
7. MAC – komunikacija u stvarnom vremenu zbog TDMA, ali samo za glasovne aplikacije
8. Načini prijenosa (usmjereni, jednosmjerni ili dvosmjerni, emitiranje, peer-to-peer) – u svim smjerovima ,dvosmjerni, nema mogućnost emitiranja, nema peer-to-peer komunikacije
9. Zahtjevi – bazna stanica
10. Smetnje (unutar i između sustava) – smetnje mogu izazvati rezervirane frekvencije. Potrebna je međudržavna suradnja u vidu ugovora o roamingu

Sustavi se koriste za sporiju komunikaciju između stanica u vozilu s prosječnim kašnjenjem te za komunikaciju između mobilnih stanica, stanica u vozilu i stanica uz prometnu infrastrukturu. Sustavi se mogu koristiti i za pristup internetu pri velikim brzinama vozila, ali s malom brzinom prijenosa podataka [8].

### 5.3.3. UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*)

UMTS je mreža koja je temeljena na GSM standardu s podrškom različitim klasama kvalitete usluge (engl. *Quality of Service – QoS*). Sva komunikacija se odvija preko baznih stanica.

1. Standard – 3GPP standard
2. Antena – krovna
3. Frekvencijski pojas – 900 MHz (slanje u pojasu 880-915 MHz, preuzimanje u pojasu 925-960 MHz), 2100 MHz (slanje u pojasu 1920-1980 MHz, preuzimanje u pojasu 2110-2170 MHz)
4. Kanali (broj, veličina, odvojenost, kontrolni kanalni i podatkovni kanali) – 5 MHz širine
5. Izlazna snaga (mogućnost kontrole snage) – kontrola snage
6. Brzina prijenosa podataka (uključuje doseg i latenciju) – preuzimanje i slanje brzinom 384 kbps (HSPA preuzimanje brzinom 14400 kbps, slanje brzinom 5760 kbps). Domet ovisi o baznim stanicama. Maksimalni domet bazne stanice je 2 km. Latencija 200 – 300 ms (HSDPA: 100 ms)
7. MAC – komunikacija u stvarnom vremenu zbog CDMA, ali usluga ovisi o blizini bazne stanice i brzini vozila
8. Načini prijenosa (usmjereni, jednosmjerni ili dvosmjerni, emitiranje, peer-to-peer) – u svim smjerovima, dvosmjerna, limitirana mogućnost emitiranja, nema peer-to-peer komunikacije
9. Zahtjevi – bazna stanica
10. Smetnje (unutar i između sustava) – Cell breathing može uzrokovati smetnje unutar sustava, a između sustava smetnje mogu izazvati rezervirane frekvencije. Potrebna je međudržavna suradnja u vidu ugovora o roamingu

Najčešće se koristi za komunikaciju prosječnom brzinom, s prosječnim kašnjenjem i to između stanica u vozilu te između stanica uz prometnu infrastrukturu, stanica u vozilu i mobilnih stanica [8]. Također omogućuje pristup internetu prosječnom brzinom pri velikim brzinama vozila.

## 6. PRIMJENA EUROPSKE KOMUNIKACIJSKE ITS ARHITEKTURE

Europska unija i u sklopu nje Europska komisija su u zadnjih desetak godina potaknuli i financirali razvoj nekoliko projekata koji se bave kooperativnim sustavima. Njihovo težište je na razvoju V2V i V2I komunikacija, odnosno pripadajućih aplikacija i tehnologija kako bi povećali cestovnu sigurnost, zaštitu sustava te stekli bolje razumijevanje kako sustavi mogu djelovati kooperativno. Neki od tih projekata su CVIS (engl. *Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*), SAFESPOT i SEVECOM.

### 6.1. CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems)

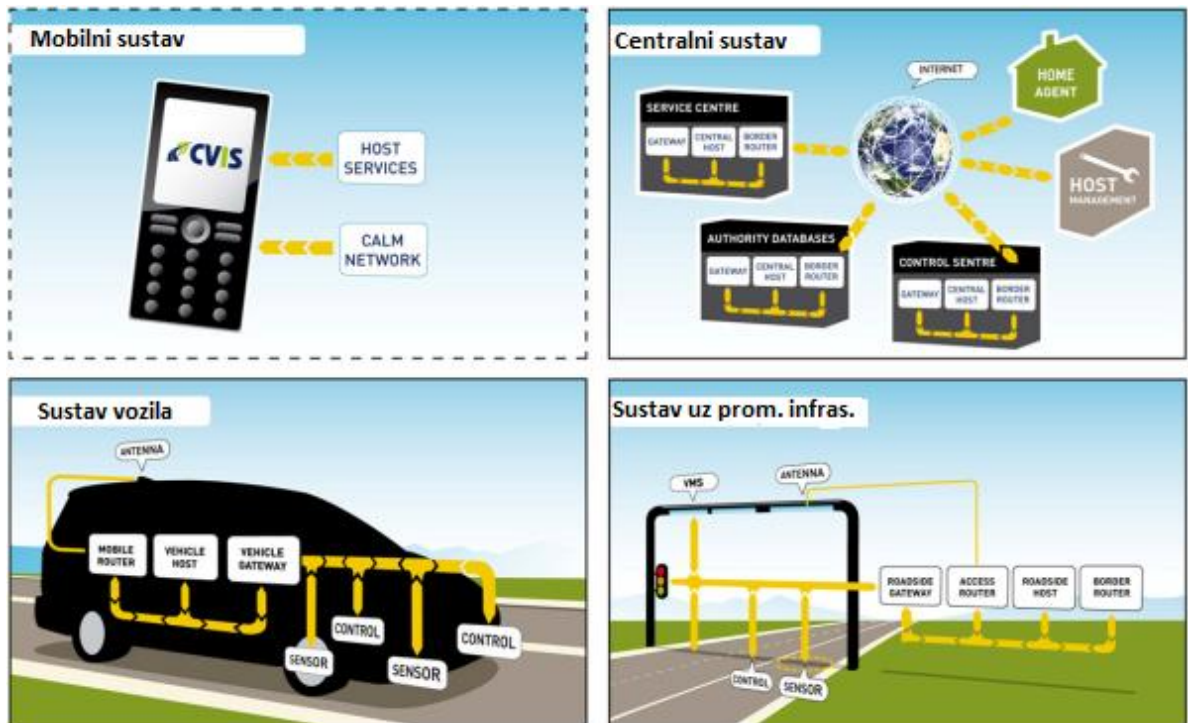
CVIS je projekt koji je sufinancirala Europska unija. Projekt se bavio V2V i V2I komunikacijom i kooperacijom, odnosno tehnologijama koje bi omogućile takvu vrstu komunikacije. Takvi kooperativni sustavi omogućuju vozačima da utječu na prometni sustav, dobiju upute o najbržem putu prema njihovoj destinaciji i sl. Također projekt se bavio i s interoperabilnosti između vozila i infrastrukture različitih proizvođača. Glavni cilj projekta je bio da se napravi bežična mreža između vozila i infrastrukture, otvorena platforma za razvoj V2V i V2I kooperativnih usluga te da se poveća efikasnost i sigurnost na prometnicama kooperacijom prometnice i infrastrukture.

Kroz CVIS projekt je tako razvijena tehnološka platforma koja pruža širok raspon funkcionalnosti koje se odnose na skupljanje podataka, potporu prilikom putovanja, prometne i transportne operacije te na informiranje vozača. CVIS tehnologija se bazirana na IPv6 (engl. *Internet Protocol Version 6*), odnosno najnovijem internet protokolu [14]. On je bio pogodan za CVIS zbog toga jer ima podršku za mobilne mreže, a na njima je temeljena komunikacijska arhitektura između vozila i infrastrukture.

Za svoju platformu, CVIS je koristio komunikacijske komponente za sustave poput 5.9 GHz mobilne bežične lokalne mreže (osnova IEEE 802.11p standard), IR-a, mobilne 2G/3G sustave te za integrirane „pametne antene“ [14].

Kako bi se olakšao razvoj sustava, CVIS arhitektura (Slika 19) opisuje peer-to-peer mrežu bez nekakve posebne hijerarhije. Svi entiteti mogu međusobno komunicirati, pa tako vozilo u jednom trenutku može biti pružatelj usluge, a u drugom klijent, odnosno primatelj

usluge, te je zbog toga CVIS koristio istu platformu za instalacije i u vozilima i u infrastrukturu, dok je razlika jedino u konfiguraciji i instalaciji antena. To sve omogućuje da sustav bude pouzdan, otvoren za nove zahtjeve i dostupan.



Slika 19: CVIS arhitektura [14]

## 6.2. SAFESPOT

SAFESPOT je bio istraživački projekt sufinanciran od strane Europske komisije. Projekt je započeo 2006. godine, a završio je 2010. godine. Glavna zadaća projekta je bila da se istraži na koji način inteligentne prometnice i inteligentna vozila mogu kooperativno djelovati da se poveća cestovna sigurnost. Cilj je bio da se razvije okvirna aplikacija koja će unaprijed otkrivati potencijalno opasne situacije koristeći se informacijama koje se odnose na sigurnost, a bile bi prikupljane s mreže koja je spojena sa sensorima na vozilima te bi se zatim vozači obavještavali porukama o izvanrednim situacijama [15]. Tako bi se povećala svijest vozača o okolini za vrijeme vožnje i time bi se smanjio broj prometnih nesreća. Osnova takvog inteligentnog kooperativnog sustava je komunikacija na V2V i V2I razini preko ad-hoc mreže.

Ključne tehnologije koje je projekt SAFESPOT definirao, a koje je trebalo razviti ili poboljšati su [16]:

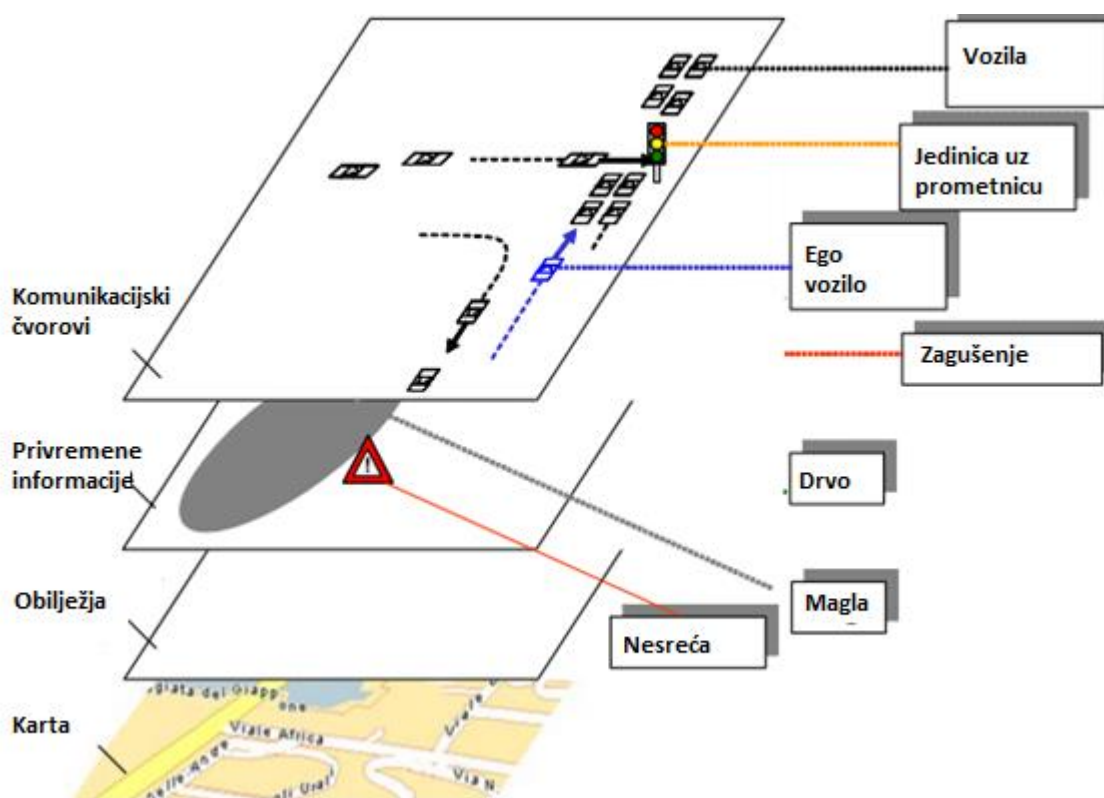
- Komunikacija preko dinamičke ad-hoc mreže čiji su čvorovi vozila i jedinice uz prometnu infrastrukturu
- Precizno relativno određivanje pozicije
- Lokalna dinamička mapa
- Mreže bežičnih senzora koje se koriste na razini infrastrukture

Aplikacije projekta SAFESPOT-a rade na principu:

1. Unaprijed detektiraju potencijalno opasne situacije
2. Povećavaju vozačima svjesnost u vezi okoline, oko toga što se događa i u kojem trenutku u njihovoj okolini
3. Upozoravaju vozače na moguće opasne situacije kako bi držali vozilo što dalje te izdaju upozorenja ukoliko se već došlo do incidenta na prometnici

Arhitektura SAFESPOT sustava se sastoji od seta čvorova, tj. vozila i infrastrukture uz prometnicu opremljene SAFESPOT sustavom, a koji mogu razmjenjivati informacije s drugim čvorovima preko bežične komunikacije kratkog dometa prema IEEE 802.11p standardu. Sustav dobivene informacije koristi da bi generirao poruke upozorenja za vozače. Mreža koju koristi SAFESPOT se zove VANET (engl. *Vehicle Ad-hoc Network*). To je mreža u kojoj se vozilo ponaša kao mobilni čvor [17]. Čvor pokreće aplikacije koristeći se podacima dobivenima od vlastitih senzora ili koje su mu poslali drugi čvorovi. Svi podaci se skupljaju u lokalnoj dinamičnoj mapi (engl. *Local Dynamic Map – LDM*) (Slika 20) koja je višeslojna baza podataka i njoj se podaci konstantno osvježavaju. LDM se sastoji od četiri različita sloja [16]:

1. Statične mape (engl. *Static Maps*)
2. Orijentira (engl. *Landmarks*) – fiksnih objekata na prometnici poput npr. zgrada i prometnih znakova)
3. Privremenih objekata (engl. *Temporary Objects*) – npr. područja magle i radova na prometnici
4. Dinamičkih objekata (engl. *Dynamic Objects*)



Slika 20: Struktura LDM-a [16]

Aplikacije se oslanjaju na podatke koji su dostupni u LDM-u. Kao okvir za integriranje aplikacija uzimaju se aplikacijski dio generatora poruka i koordinator aplikacija. Aplikacije trebaju biti u mogućnosti raditi pod svim okolnostima koje se mogu dogoditi na cesti.

SAFESPOT je odredio dvije klase implementacija, a koje ovise o razini inteligencije koja se nalazi u vozilu. Prva klasa se bazira V2I-I2V komunikaciji te zahtjeva nižu razinu inteligencije. Aplikacije iz ove klase trebaju pokrivati statičke i dinamičke crne točke, tj. područja gdje je mogućnost nesreća veća, a koja se nalaze u području jedinice uz prometnu infrastrukturu. Druga klasa se odnosi na aplikacije koje pokrivaju V2V komunikaciju te zahtjeva višu razinu inteligencije u vozilu zbog pokrivanja dinamičkih crnih točaka koje se mogu pojaviti bilo gdje.

### 6.3. SEVECOM (Secure Vehicular Communication)

Projekt SEVECOM je nastao iz potrebe da se zaštiti V2V i V2I bežična komunikacija te da se predlože mehanizmi zaštite privatnosti sudionika takve komunikacije. Projekt je podržala Europska komisija i bio je financiran novcem EU. SEVECOM projekt je započeo u

svibnju 2006., a završio je u travnju 2009. godine. Glavni cilj projekta je bio razvoj sigurnosne arhitekture komunikacijskih mreža vozila i integracija sigurnosnih funkcija u te mreže [18]. Želeći povećati sigurnost aplikacija za cestovnu sigurnost, projekt se fokusirao na komunikacije specifične za cestovni promet.

Sigurnost komunikacijske mreže vozila je vrlo bitna, jer aplikacije, čiji se rad temelji na takvim mrežama, služe za detekciju zastoja u prometu, za izbjegavanje incidentnih situacija u prometu, a rade na principu da V2V komunikacije te se sve bitne informacije, poput stanja na prometnici, dijele između vozila, pa bi stoga bilo kakav proboj sigurnosti, odnosno bilo kakva greška koja bi dovela do prijenosa pogrešnih informacija komunikacijskom mrežom između vozila mogla izazvati incidentne situacije u prometu, tj. može doći do zastoja u prometu ili prometne nesreće [19].

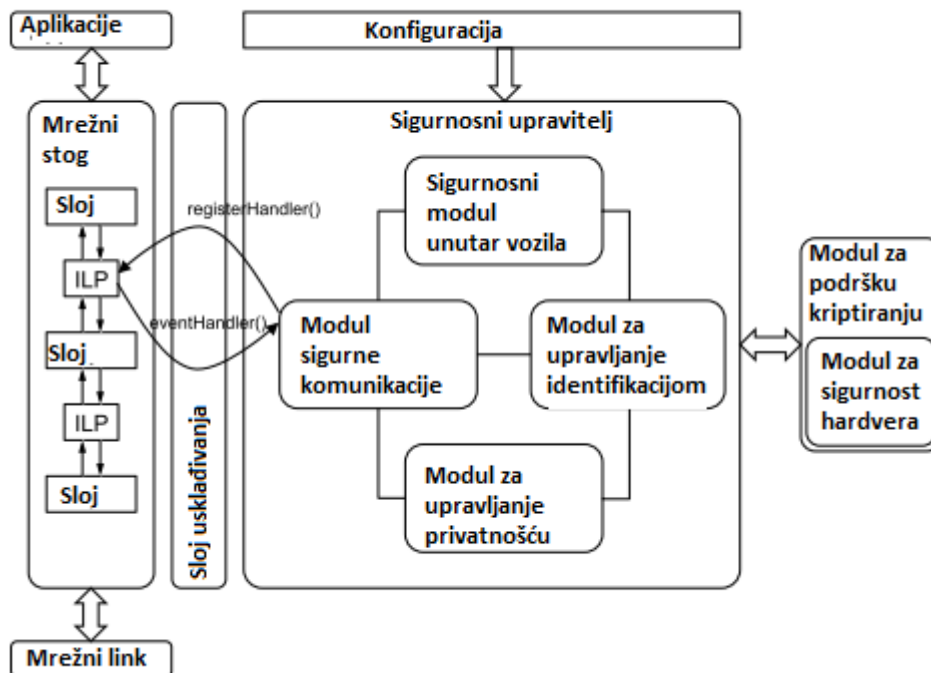
Kako bi povećao sigurnost kod V2V komunikacije, SEVECOM je osmislio sustav koji potvrđuje vjerodostojnost poruke pošiljatelja. Mehanizam radi na principu da meta podatke i osjetljivi dio poruke potpisuje sa asimetričnim privatnim ključem. Poruci pošiljatelja se tako dodaju potpis, pošiljateljev javni ključ i certifikat tijela za izdavanje certifikata (osigurava vjerodostojnost javnog ključa). Pošiljatelj tako može potvrditi vjerodostojnost poruke pomoću javnog ključa i certifikata.

Međutim takav sustav bi bio i dalje ranjiv ukoliko bi certifikat uvijek bio isti. Zbog tog razloga sustav koristi pseudonime, odnosno kombinaciju kratkotrajnih ključeva i certifikata te se pseudonimi mijenjaju nakon određenog vremena. Takav sustav onemogućuje praćenje vozila, tj. izmjenu poruka koje se šalju između vozila. Arhitektura takvog sustava se može koristiti i za osiguravanje V2I komunikacije, odnosno komunikacije između vozila i infrastrukture.

Arhitektura SEVECOM sustava (Slika 21) čini aplikacije, koje koriste komunikacijsku mrežu vozila, pouzdanima i robusnima. Sustav je zasnovan na neovisnim modulima koji zbog različitih sigurnosnih mehanizama omogućuju implementaciju novih sigurnosnih rješenja u budućnosti. Module kontrolira sigurnosni upravitelj (*engl. Security Manager*). On ima mogućnost dinamički omogućiti ili onemogućiti komponente za sigurnu komunikaciju (*engl. Secure Communication Components*) te može konfigurirati module ovisno o potrebama. Upravitelj pseudonimima (*engl. Pseudonym Manager - PM*) provjerava valjanost pseudonima



i osigurava prostor za njihov smještaj. On odlučuje kada se pseudonimi i MAC adresa trebaju promijeniti, a kada potroši sve pseudonime, kontaktira tijelo za izdavanje certifikata (engl. *Certificate Authority – CA*) kako bi dobio nove pseudonime. Certifikatima i identifikatorima za dugoročne ključeve te registracijom i povlačenjem javnih ključeva upravlja modul za upravljanje identifikacijom i nadzorom (engl. *Identification & Trust Management Module*). Modul za podršku kriptiranju (engl. *Crypto Support Module - CSM*) je zadužen za verifikaciju ključeva, potpisa i certifikata te za proizvodnju ključeva i potpisa. Dozvoljen mu je pristup u modul za sigurnost hardvera (engl. *Hardware Security Module*) ili kriptografsku knjižnicu. Modul za sigurnost hardvera sadrži privatne ključeve i obavlja kriptografske operacije te je fizički zaštićen od neovlaštenih čitanja privatnih ključeva.



Slika 21: Osnovna arhitektura [18]

Izlazne i ulazne poruke se usmjeravaju na komponente za sigurnu komunikaciju koje uz CSM i PM verificiraju potpise i pseudonime. Sigurnosni modul u vozilu (engl. *In-car Security Module*) je gateway prema sustavima i sensorima drugog vozila. Sustav za otkrivanje upada pregledava sve informacije koje izmjene sustavi unutar vozila i mrežni stog. Zbog komunikacije između vozila, vatrozid ograničava pristup sustavima unutar vozila kako bi spriječio neovlaštene upade. SEVECOM sustav je spojen na mrežni stog preko međuslojnih

proxya (engl. *Inter Layer Proxies – ILPs*). Komponente sigurne komunikacije se u početnoj fazi registriraju na jedan ili više ILPs-a. Dolazak poruke na ILP pokreće događaj kojim upravljaju komponente sigurne komunikacije, koje poruku obrađuju i modificiraju te zatim obavještavaju ILP treba li poruku odbaciti ili poslati dalje [20].

SEVECOM sigurnosni sustav koji je gore predstavljen je uspješno implementiran u ACUp (engl. *AKTIV Communication Unit with 802.11p*) mrežni stog. WSU (engl. *Denso Wireless Security Units*) koji koristi 802.11p standard za implementaciju mrežnog protokola i frekvencijski pojas od 5.9 GHz pokreće cijeli sustav te se takav sustav može odmah integrirati u bilo koje vozilo [18].

SEVECOM projekt je uspješno napravio sigurnosnu arhitekturu za V2V i V2I komunikaciju. Koristeći se kriptiranim potpisima, provjerom vjerodostojnosti poruka i pseudonimima može osigurati privatnost komunikacije te spriječiti neovlaštene upade u komunikacijsku mrežu. SEVECOM je osigurao osnove za sigurnu komunikaciju između vozila i između vozila i infrastrukture, a koje se mogu integrirati u bilo koji stog mreža te je time olakšao budući razvoj ne samo sigurnosnih sustava nego i ostalih sustava i aplikacija vezanih uz V2V i V2I komunikaciju.

#### **6.4. Situacija u Republici Hrvatskoj**

Republika Hrvatska je u sklopu priprema za ulazak u Europsku uniju započela s uvođenjem odgovarajućih sustava i procedura, pa je tako započela i s uvođenjem direktive 2010/40/EU Europskog parlamenta i Vijeća, a koja govori o okviru za uvođenje ITS-a u cestovnom prometu i za veze s ostalim vrstama prometa. Tako je nastao i Nacionalni program za razvoj i uvođenje inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu 2014-2018. U Nacionalnom programu su na temelju analize postojećeg stanja razvoja ITS-a, zahtjeva nastalih ITS direktivom te potreba hrvatskog cestovnog prometnog sustava, definirani nacionalni strateški ciljevi, prioritetna područja i aktivnosti (Slika 22), a za njihovu provedbu je određen skup mjera [21].



Slika 22: Strateški ciljevi i prioritetna područja [21]

Gradnja i modernizacija autocesta i ostale prometne infrastrukture, Republiku Hrvatsku stavlja na vodeće mjesto u regiji po pitanju opremljenosti sustavima za upravljanje prometom na cestama i brzim cestama, sustavima sigurnosti i dr. Zbog moderne informacijsko-komunikacijske tehnologije koja je implementirana na hrvatskim autocestama omogućena je i daljnja integracija cestovne infrastrukture, a koja vodi prema razvoju upravljanja prometom u državi. Vrlo je važno za Hrvatsku da je većina implementirane tehnologije proizvod domaće industrije. Posebno su bitni programski sustav za centralizirano nadgledanje i upravljanje prometom te tehnologija promjenjive prometne signalizacije VMS (engl. *Variable Message Sign*) jer su priznati i na međunarodnom tržištu.

Buduća realizacija strategije razvoja ITS-a u Hrvatskoj, što se posebno odnosi na razvoj ITS-a u gradovima (adaptivna kontrola prometa, upravljanje javnim gradskim prijevozom, upravljanje parkiralištima itd.), bit će uvjet za daljnju realizaciju projekata iz područja upravljanja transportnim sustavima, a posebno će potaknuti daljnji razvoj industrijskih sektora koji se cestovnim telematičkim sustavima, razvojem softvera, elektronikom itd.

## 7. ZAKLJUČAK

Zbog sve veće potrebe za kooperacijskim sustavima unutar Europske unija, Europska komisija je kroz zadnjih petnaestak financirala veliki broj projekata čiji je cilj bio razvoj arhitekture ITS-a prilagođene Europi. Tako se i razvila europska okvirna arhitektura ITS-a u okviru FRAME projekata, te je njezin razvoj potaknuo i da se razvije europska komunikacijska arhitektura.

Razvoju europske komunikacijske arhitekture je pogodovao razvoj kooperativnih sustava, koji zahtijevaju da komunikacija između različitih komponenti sustava bude pouzdana, a to osigurava upravo komunikacijska arhitektura. Ona se razvila kroz razne projekte poput Comesafety-a, SAFESPOT-a, CVIS-a itd. Većina tih projekata je bila orijentirana na razvoj kooperativnih sustava, pa se tako uz razvoj kooperativnih sustava razvijala i komunikacijska arhitektura. Osnovne komunikacijske poveznice kooperativnih sustava u tim projektima su V2V i V2I komunikacija, pa je tako i komunikacijska arhitektura najrazvijenija za potrebe takve vrste komunikacije. Komunikacijska arhitektura je pomogla i pri definiranju i razvoju različitih tehničko-tehnoloških i komunikacijskih standarda koje upotrebljava. Osnovni dio komunikacijske arhitekture je stanica ITS-a jer se preko nje odvija sva komunikacija između komponenti sustava. Komunikacijski sustavi poput ad-hoc i ćelijskih sustava su sastavni dio komunikacijske arhitekture. Većina kooperativnih sustava koristi sustave kratkog dometa, ad-hoc i ćelijske sustave poput CEN DSRC 5.8 GHz, WiFi-a i UMTS-a. U Republici Hrvatskoj trenutno vlada povoljna situacija za razvoj ITS-a, a na to su utjecali ulazak Hrvatske u Europsku uniju, gradnja i modernizacija autocesta te posebno rast određenih industrijskih sektora poput softverskog i elektroničkog, a do kojeg dolazi upravo zbog razvoja i uvođenja ITS-a. Nastavak razvoja komunikacijske arhitekture je ključan za bilo koje buduće kooperativne sustave. Komunikacijska arhitektura pridonosi standardizaciji raznih tehničko-tehnoloških i komunikacijskih elemenata sustava, pridonosi razvoju sigurnosti sustava te tako omogućuje razvoj i primjenu kooperativnih sustava, a prvenstveno V2V i V2I sustava jer je temelj takvih kooperativnih sustava V2V i V2I komunikacija. Komunikacijska arhitektura temelj razvoja kooperativnih sustava ITS-a budućnosti.

## LITERATURA

- [1] Bošnjak, I.: Inteligentni transportni sustavi 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [2] McQueen, B., McQueen, J.: Intelligent transportation systems architectures, Artech House, United States of America, 1999.
- [3] [www.frame-online.eu](http://www.frame-online.eu) (18.11.2016.)
- [4] Miller, H. J., Shaw, S-L.,: Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications, Oxford University Press, 2001.
- [5] WP300 D15 – FRAME Architecture – Part 5: FRAME Architecture Methodology, 2011.
- [6] P. H. Jesty and R. A. P. Bossom, "Using the FRAME Architecture for planning integrated Intelligent Transport Systems," Integrated and Sustainable Transportation System (FISTS), 2011 IEEE Forum on, Vienna, pp. 370-375., 2011.
- [7] WP300 D15 – FRAME Architecture – Part 1: Overview, 2011.
- [8] COMeSafety – D31 European ITS Communication Architecture, 2009.
- [9] 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.
- [10] Svrtan, H.: Europska komunikacijska arhitektura – seminarski rad, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2014.
- [11] ETSI EN 302 665 v1.1.1 2010.
- [12] William H. Tranter; Desmond P. Taylor; Rodger E. Ziemer; Nicholas F. Maxemchuk; Jon W. Mark, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection," in The Best of the Best:Fifty Years of Communications and Networking Research , 1, Wiley-IEEE Press, pp.599-606, 2007.
- [13] [www.car-2-car.org](http://www.car-2-car.org) (18.11.2016.)
- [14] CVIS – D.CVIS.1.3. Final Activity Report, 2010.
- [15] SAFESPOT D8.1.1 Final report, 2010.
- [16] SAFESPOT D8.4.4 Safespot Applications, 2008.

- [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] B. Wiedersheim, M. Sall and G. Reinhard, "SeVeCom — Security and privacy in Car2Car ad hoc networks," Intelligent Transport Systems Telecommunications,(ITST),2009 9th International Conference on, Lille, pp. 658-661., 2009.
- [19] P. Papadimitratos, L. Buttyan, T. Holczer, E. Schoch, J. Freudiger, M. Raya, Z. Ma, F. Kargl, A. Kung, and J.-P. Hubaux, "Secure vehicular communications: Design and architecture," IEEE Communications Magazine, vol. 46, no. 11, p. 2–8, 11/2008 2008.
- [20] F. Kargl, P. Papadimitratos, L. Buttyan, M. Muter, B. Wiedersheim, E. Schoch, T.-V. Tongh, G. Calandriello, A. Held, A. Kung, and J.P. Hubaux, "Secure vehicular communications: Implementation, performance, and research challenges," IEEE Communications Magazine, vol. 46, no. 11, p. 2–8, 11/2008, 2008.
- [21] Nacionalni program za razvoj i uvođenje ITS-a u cestovnom prometu 2014-2018 (Prijedlog)

## POPIS SLIKA

Slika 1: Klasični tijek razvoja sustava [1] .....	4
Slika 2: Evolutivni pristup razvoju kompleksnog sustava [1] .....	5
Slika 3: Tijek razvoja arhitekture [1] .....	7
Slika 4: Primjer logičke arhitekture [1] .....	8
Slika 5: Proces razvoja kompleksnih sustava s reevaluacijom [1] .....	12
Slika 6: FRAME arhitektura [3] .....	13
Slika 7: V-model životnog ciklusa sustava [6] .....	19
Slika 8: Pravilo "10:100:1000" [6] .....	20
Slika 9: Metodologija europske okvirne arhitekture [5] .....	21
Slika 10: Funkcionalno gledište [3] .....	23
Slika 11: Prikaz komunikacijske mreže [10] .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Slika 12: Referentna arhitektura stanice ITS-a [8] .....	29
Slika 13: Pristupni sloj [11] .....	30
Slika 14: "Umrežavane i transport" sloj [11] .....	30
Slika 15: "Sadržaji" sloj [11] .....	31
Slika 16: Entitet upravljanje [11] .....	31
Slika 17: Entitet zaštita [11] .....	32
Slika 18: V2V komunikacija, [13] .....	34
Slika 19: CVIS arhitektura [14] .....	46
Slika 20: Struktura LDM-a [16] .....	48
Slika 21: Osnovna arhitektura [18] .....	50
Slika 22: Strateški ciljevi i prioritetna područja [21] .....	52

## METAPODACI

**Naslov rada: Europska komunikacijska ITS arhitektura**

**Student: Marko Matić**

**Mentor: dr. sc. Miroslav Vujić**

**Naslov na drugom jeziku (engleski): European ITS Communication Architecture**

**Povjerenstvo za obranu:**

- Prof. dr. sc. Sadko Mandžuka                      predsjednik
- Dr. sc. Miroslav Vujić                              mentor
- Dr. sc. Pero Škorput                                član
- Doc. dr. sc. Edouard Ivanjko                      zamjena

**Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj:** Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod: Zavod za inteligentne transportne sustave**

**Vrsta studija:** Preddiplomski

**Studij: ITS i logistika**

**Datum obrane završnog rada: 06.12.2016.**





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  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.  
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.  
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Europska komunikacijska ITS arhitektura**

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

U Zagrebu, 18.11.2016. \_\_\_\_\_

Student/ica:



(potpis)