

# Sustavi automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza temeljnih na Wi-Fi tehnologiji

---

Rajič, Vinko

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:551307>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Vinko Rajič**

**SUSTAVI AUTOMATSKOG BROJANJA PUTNIKA U**  
**VOZILIMA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA TEMELJENIH**  
**NA WI-FI TEHNOLOGIJI**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2020.**



Zagreb, 8. svibnja 2020.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Planiranje telekomunikacijskih mreža**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6021

Pristupnik: **Vinko Rajič (0135229051)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Sustavi automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza temeljnih na Wi-Fi tehnologiji**

Opis zadatka:

U diplomskom radu analizirat će se sustavi automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza temeljnih na Wi-Fi tehnologiji. Opisat će se značajke bežične mreže kao temelja automatskog brojanja putnika. Analizirat će se arhitektura sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u vozilima javnog gradskog prijevoza. Navest će se prednosti i nedostaci sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji. Prikazat će se studija slučaja vezana za ispitivanje mogućnosti brojanja putnika/osoba putem Wi-Fi tehnologije.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Ivan Grgurević

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet prometnih znanosti**

**DIPLOMSKI RAD**

**SUSTAVI AUTOMATSKOG BROJANJA PUTNIKA U VOZILIMA  
JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA TEMELJENIH NA WI-FI  
TEHNOLOGIJI**

**WI-FI BASED AUTOMATIC PASSENGER COUNTING SYSTEM IN  
PUBLIC TRANSPORT VEHICLES**

**Mentor: Doc. dr. sc. Ivan Grgurević, dipl. ing.**

**Student: Vinko Rajič**

**JMBAG: 0135229051**

**Zagreb, rujan 2020.**

## **Zahvala**

Zahvaljujem Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu na ustupanju potrebne opreme za provođenje ispitivanja u tramvajima ZET-a.

Zahvaljujem Zagrebačkom električnom tramvaju (ZET d.o.o.) na odobravanju mjerenja na tramvajskim linijama kao i na ustupljenim materijalima koji su korišteni za izradu ovog diplomskog rada.

Posebna zahvala profesoru i mentoru doc. dr. sc. Ivanu Grgureviću za pruženu pomoć unatoč postojećim obavezama prilikom izrade ovog rada.

# SUSTAVI AUTOMATSKOG BROJANJA PUTNIKA U VOZILIMA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA TEMELJNIH NA WI-FI TEHNOLOGIJI

## SAŽETAK

Poznavanje korisničkih potreba je neizostavan dio u planiranju i upravljanju bilo kojeg proizvoda ili usluge. Kada je riječ o davatelju usluge javnog prijevoza, onda se govori o informaciji o broju putnika. Brojanje putnika je zahtjevan proces koji mora dati pouzdanu informaciju o broju putnika na temelju kojeg davatelji usluga donose odluke koje se tiču poslovanja i ukupne organizacije. Zbog zahtjeva za visokom pouzdanošću, teži se prema automatizaciji brojanja putnika. Izvedba tehnologije automatskog brojanja putnika ovisi o mogućnostima davatelja usluge javnog gradskog prijevoza; stoga, isti mora odabrati primjerenu izvedbu. Jedna od tih izvedbi je automatsko brojanje putnika temeljeno na Wi-Fi tehnologiji. Iako tehnologija nema još široku primjenu u vozilima javnog gradskog prijevoza, ista pokazuje obećavajuće rezultate. Iz tog razloga, napravljena je studija slučaja gdje je ispitana provedivost sustava temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u zagrebačkim tramvajima kao i poznavanje i zainteresiranost stručnjaka iz javnog gradskog prometa/prijevoza za takvu izvedbu tehnologije brojanja putnika.

**KLJUČNE RIJEČI:** sustavi automatskog brojanja putnika, Wi-Fi tehnologija, javni gradski prijevoz

## WI-FI BASED AUTOMATIC PASSENGER COUNTING SYSTEM IN PUBLIC TRANSPORT VEHICLES

## SUMMMARY

Knowing customer needs is an essential part of planning and managing any product or service. When it comes to a urban public transport, this need is presented in information on the number of passengers, i.e. ridership. Passenger counting is a demanding process that must provide reliable information about ridership on which basis, service providers make decisions concerning the efficiency of the organization. Due to the requirement for high reliability, the aim is to automate passenger counting. The implementation of automatic passenger counting technology depends on the capabilities of the urban public transport service provider; therefore, organization must choose the appropriate technology. One of these technology is automatic passenger counting based on Wi-Fi technology. Although the technology does not yet have a widespread application in vehicles, it is showing promising results. For this reason, a case study was made where the feasibility of a system based on Wi-Fi technology in Zagreb trams will be examined, as well as the knowledge and interest of experts in such category of the technology.

**KEY WORDS:** Automatic passenger counting systems, Wi-Fi technology, public city transport

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Sustavi automatskog brojanja putnika .....	4
2.1. Potreba za brojanjem prometa .....	5
2.2. Proces brojanja putnika .....	5
2.3. Pregled ručnog i automatskog brojanja putnika .....	7
2.3.1 Ručno brojanje putnika .....	8
2.3.2 Automatsko brojanje putnika (engl. <i>Automatic Passenger Counting</i> – APC).....	9
3. Značajke bežične mreže kao temelj sustava automatskog brojanja osoba .....	10
3.1. Lokalne mreže (LAN ili engl. <i>Local Area Network</i> ).....	12
3.2. Bežične lokalne mreže (WLAN) ili 802.11 mreže .....	12
3.3. Karakteristike WLAN mreža bitnih za brojanje osoba .....	13
3.4. WLAN tehnologija kao temelj automatskog brojanja osoba.....	16
3.4.1. Brojanje klijentskih uređaja na temelju asocijacije.....	18
3.4.2. Brojanje klijentskih uređaja na temelju aktivnog skeniranja .....	19
3.4.3. Brojanje klijentskih uređaja na temelju pasivnog skeniranja.....	20
3.5. Primjena brojanja osoba temeljenog na WLAN tehnologiji .....	20
4. Implementacija sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u vozilima javnog gradskog prijevoza .....	22
4.1. Klasifikacija sustava automatskog brojanja putnika .....	22
4.2. Proces brojanja putnika i postavljanje granica istraživanja u funkciji diplomskog rada.....	24
5. Prednosti i nedostaci sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji	30
6. Studija slučaja: Ispitivanje mogućnosti brojanja putnika/osoba putem Wi-Fi tehnologije ....	34
6.1. Ispitivanje parametara Wi-Fi mreže u tramvajima ZET-a bitnih za sustav APC-a.....	34
6.1.1. Metodologija ispitivanja i odabir profesionalnog alata.....	34
6.1.2. Parametri kvalitete WLAN mreže koji su bitni za sustave automatskog brojanja putnika	37
6.1.3. Interpretacija rezultata i odabir izvedbe brojanja putnika.....	42
6.2. Anketno istraživanje o postojećem stanju i budućim planovima implementacije APC-a temeljeno na mišljenju i stavovima stručnjaka (eksperata).....	44
7. Zaključak.....	53
Literatura .....	55
Popis kratica i akronima.....	58



Popis slika, tablica i grafikona .....	60
Prilog .....	62

# 1. Uvod

Proces prostornog planiranja i planiranje gradskog prometa su uzajamno povezani. Iz tog razloga, bitno je da se oba procesa pravilno provode što podrazumijeva pomno promatranje i uočavanja trendova u dnevnim migracijama, tj. kretanjima u urbanim sredinama. Svako kretanje iz jednog dijela grada u drugi stvara promet, neovisno koji je razlog, tj. svrha kretanja. Nekontrolirano kretanje može izazvati zagušenje na točkama koncentracije zbog prevelikog broja prijevoznih sredstava na određenom području. Kako bi se smanjila zagušenja, prilikom planiranja gradskog prometa, pozornost se pridaje „alternativnim“ prijevoznim sredstvima od kojih su najbitniji vozila javnog gradskog prijevoza. Kako bi javni gradski prijevoz bio konkurentan, tj. kvalitetna supstitucija individualnim modovima prijevoza (npr. automobilu), isti se mora planirati. Pod time se podrazumijeva utvrđivanje potražnje, tj. utvrđivanje potrebe za uslugom javnog gradskog prijevoza. Utvrđivanje potrebe dalje podrazumijeva definiranje korisničkih zahtjeva, točnije koliko ljudi će koristiti uslugu, tj. broj putnika/korisnika. Na temelju te informacije, davatelj usluge (prijevoznik) je u mogućnosti odrediti koliko resursa, točnije vozila, mora posvetiti nekom dijelu grada. Upravo iz tog razloga je bitno da informacija o broju putnika bude točna.

Kako bi informacija o broju putnika bila točna, tj. pouzdana, razvijena su brojna rješenja kojima se nastoji prikupiti informacije o broju putnika uz što manje odstupanja. Jedno od tih rješenja je izvedeno koristeći jednu od najzastupljenijih mrežnih tehnologija, točnije bežične lokalne mreže. Razlog je upravo njihova široka zastupljenost koja se može iskoristiti za određivanje broja putnika, tj. uređaja na nekom određenom području, tj. u slučaju javnog gradskog prijevoza u vozilu što je ujedno i tema ovog diplomskog rada.

Svrha rada je istražiti i definirati različite načine i izvedbe brojanja putnika u javnom gradskom prijevozu koje se temelje na Wi-Fi tehnologiji, a pritom uzimajući u obzir ograničenja tehnologije.

Cilj rada je provesti analizu sustava automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza temeljenih na Wi-Fi tehnologiji kao i ispitivanje mogućnosti izvedbe istih. U diplomskom radu opisani su sustavi automatskog brojanja putnika, analizirane su značajke bežične mreže kao temelja automatskog brojanja putnika i opisan sustav automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u vozilima javnog gradskog prijevoza. Također, navedene su prednosti i nedostaci sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji. Također, u radu su razrađene studije slučaja, odnosno ispitivanje mogućnosti izvedbe automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u zagrebačkim tramvajima kao i provođenje anketnog upitnika koji je predviđen za određivanje stavova i mišljenja stručnjaka (eksperata) sa svrhom određivanja mogućnosti implementacije automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza.

Diplomski rad se sastoji od sedam povezanih poglavlja/teza:

## 1. Uvod

2. Sustavi automatskog brojanja putnika
3. Značajke bežične mreže kao temelj sustava automatskog brojanja osoba
4. Implementacija sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u vozilima javnog gradskog prijevoza
5. Prednosti i nedostaci sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji
6. Studija slučaja: Ispitivanje mogućnosti brojanja putnika/osoba putem Wi-Fi tehnologije
7. Zaključak

Diplomski rad je strukturiran na način da se čitatelja upozna prvo s općim značajkama brojanja putnika te bežičnih mreža. Zatim kako su iskorištene glavne značajke iz oba područja kako bi se izveo sustav automatskog brojanja putnika temeljen na Wi-Fi tehnologiji.

U Uvodu se definira svrha, cilj i struktura diplomskog rada. Drugim poglavljem daje se uvid zašto je javni gradski prijevoz neizostavan dio svake urbane sredine te će se definirati načini planiranja istog. Okosnica planiranja javnog gradskog prijevoza je upravo brojanje putnika, pojašnjava se potreba za brojanjem, proces brojanja te se navode vrste brojanja putnika.

U trećem poglavlju napravljen je kratki pregled računalnih te lokalnih mreža, a nakon čega se definiraju dijelovi bežičnih lokalnih mreža koji su bitni za tematiku ovog rada. Zatim, navode se i objašnjavaju načini brojanja osoba koji za temelj koriste Wi-Fi tehnologiju te se navodi gdje ovakva izvedba tehnologije ima aktivnu primjenu.

U četvrtom poglavlju opisana je klasifikacija sustava automatskog brojanja putnika, definira se koji dijelovi procesa brojanja putnika su bitni za ovaj diplomski rad te se daje pregled rješenja koji su korisni za implementaciju u vozila javnog gradskog prijevoza kao i arhitektura takvog sustava u vozilu.

U petom poglavlju napravljen je usporedni pregled prednosti i nedostataka sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji. Zatim je napravljen tablični pregled već postojećih sustava koji koriste bežičnu tehnologiju za brojanje putnika ili osoba te se utvrdilo korištenje određenih izvedbi tehnologija.

Studija slučaja predmet je šestog poglavlja, a ona podrazumijeva:

- Ispitivanje parametara već postojeće bežične mreže koja je implementirana u zagrebačkim tramvajima, a koji su uzeti kao promatrano okruženje te određivanje optimalne izvedbe tehnologije brojanja putnika temeljenih na Wi-Fi tehnologiji zagrebačkim tramvajima
- Provođenje anketnog upitnika s ciljem utvrđivanja postojećeg stanja i mogućnosti uvođenja sustava automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza

U posljednjem poglavlju, Zaključku, sustavno su prikazani glavni elementi rada te je donesen zaključak na temelju provedenog istraživanja. Na kraju rada nalazi se popis kratica i akronima te popis slika, tablica i grafikona. Osim toga, u prilogu rada se nalaze pitanja koja su se koristila u anketnom upitniku za ciljano skupinu ispitanika.

## 2. Sustavi automatskog brojanja putnika

Jedna od većih promjena koja je okarakterizirala 20. stoljeće je trend urbanizacije; tj. raseljavanje stanovništva iz ruralnih područja u gradske sredine. Urbana mobilnost, danas, se u nekim dijelova svijeta povećava proporcionalno, a u nekim dijelovima eksponencijalno [1]. Porastom broja stanovnika u gradovima dolazi do širenja istih kao i potrebom za brzim prijevozom od jednog kraja grada do drugog. Kao odgovor na navedenu potrebu, počelo se s implementacijom javnog gradskog prijevoza (JGP). Razvoj i daljnje optimizacija JGP-a je bila dodatna stimulacijska komponenta koja je pridonijela širenju, tj. povećanju gradova budući da su se stambeni objekti gradili uz linije i oko stajališta JGP-a. Međutim, sveopćom „komercijalizacijom“ automobila koji također zadovoljava potrebe za brzim prijevozom, gradnja novih naselja se više ne provodi u skladu s infrastrukturom. Prioritet se više ne stavlja u tolikoj mjeri na razvoj novih pravaca JGP-a budući da isti nemaju utjecaja na korištenje zemljišta [2]. Istovremeno, s proširenjem gradova i porastom stanovništva, pojavio se problem zagušenosti koji je nastao kao posljedica:

- Urbanizacije – koncentracija ljudi i ekonomskih aktivnosti je u gradskim područjima
- Specijalizacije unutar gradova – odvajanje radnih mjesta i mjesta za stanovanje u različitim dijelovima grada stvara potrebu za putovanjem
- Usklađivanje ponude i potražnje – dostupna prijevozna sredstva kao ponuda su kontinuirana, tj. stalna dok potražnja varira tijekom dana zbog čega nastaju zagušenja u glavnom prometnom satu
- Ponuda često potiče potražnju – povećanje kapaciteta prometnice ili izgradnja nove potiče korištenje iste što na kraju uzrokuje dodatna zagušenja [2].

Nadalje, drugi najzastupljeniji problem je pokretljivost, tj. dostupnost prijevoznih sredstava svim građanima. Iako je osobni automobil glavno prijevozno sredstvo za većinu populacije, često je slučaj gdje građani izbjegavaju vožnju automobilom. Iz tog razloga, javni gradski prijevoz mora biti dostupan. Treći najzastupljeniji problem su vanjski utjecaji; točnije prometne nesreće, potrošnja energije, ekološki utjecaji, estetika gradova, itd [2].

Iako je prva pomisao na problem zagušenosti prometa povećanje kapaciteta prometnice/linije ili izgradnja nove, isto ne mora biti učinkovito rješenje. Kao što je navedeno, izgradnja nove ili proširenje kapaciteta može uzrokovati dodatna zagušenja na istoj prometnici/liniji. Iz tog razloga, potrebna je optimizacija postojeće infrastrukture i poticanje na korištenje JGP-a. Kako bi se započeo proces optimizacije, mora se znati brojka objekata, tj. putnika u slučaju JGP-a, koji koriste infrastrukturu i prijevozna sredstva. Kako bi se odredilo koliki udio neke populacije (broja građana) koristi JGP, mora se obaviti brojanje putnika ili prometa.

## 2.1. Potreba za brojanjem prometa

Brojanje prometa je okosnica za planiranje prometa. Brojanjem prometa se prikupljaju informacije o trenutnom stanju prometa na temelju kojih se donose zaključci o potrebama rekonstrukcije, izgradnje ili optimizacije novih prometnih pravaca ili linija JGP-a. Tijekom ponavljanja brojanja u određenim vremenskim intervalima, mogu se uočiti „uzorci“ ponašanja na određenim točkama na liniji. Informacija o broju osoba na nekom području postaje neophodna kada je u pitanju planiranje i/ili optimiziranje raspoloživih resursa sa svrhom postizanja boljih poslovnih ciljeva. Iz tog razloga, brojanje osoba je našlo široku primjenu prvenstveno u tercijarnom sektoru; točnije, maloprodajni lanci, trgovački centri te javni prijevoz gdje je glavna svrha usklađivanje ponude i potražnje. Brojanje prometa bi se trebalo provoditi u situacijama kada se može iz istog dobiti najveća korist iz promatranja istog; točnije na poslovnim područjima za vrijeme radnog dana u tjednu, tijekom ljeta i/ili zime na rutama koje povezuju rekreacijske koncentracijske točke (hotelske komplekse, skijališta, itd.). Nadalje, kako bi se brojanje prometa moglo bolje organizirati, isto se mora provoditi u „normalnim“ uvjetima, tj. brojanje prometa se ne smije provoditi u izvanrednim situacijama (važan kulturni događaj, državni sastanak, itd.) gdje se provodi izvanredna regulacija prometa [3].

Gledajući s perspektive prometnog i prostornog planiranja gradskog područja, brojanjem prometa ili putnika se prikupljaju informacije koje su potrebne zbog:

- Prometnog i urbanističkog planiranja
- Planiranja perspektive prometne mreže nekog većeg područja ili oblikovanja nekog prometnog čvora
- Rekonstrukcija postojeće prometne mreže i izgradnja novih prometnih pravaca. [3]

Brojanje osoba - putnika kao metoda za optimiziranje usluga prijevoza u javnom prijevozu koristi brojna rješenja koja su neizostavna u sklopu logistike prijevoza putnika. Logistika prijevoza putnika kao takva je usredotočena na stvaranje prijevozne ponude u skladu sa zahtjevima, tj. potrebama korisnika prijevoza. Stoga, bitno je uskladiti ponudu i potražnju planiranjem i distribucijom usluge u pravo vrijeme na pravom mjestu. Kako bi se usklađivanje moglo izvesti, bitno je da podatak o broju korisnika javnog prijevoza bude pravilno prikupljen, točan te interpretiran bez manipulacije odnosno mijenjanja sadržaja. Točnije, kretanje putnika, koje se ostvaruje u različitim vremenskim razdobljima pritom koristeći različita prijevozna sredstva [1].

## 2.2. Proces brojanja putnika

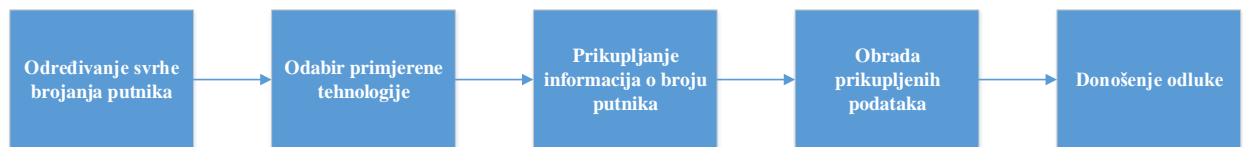
Gradski prijevoz čine skup putovanja od izvorišta do odredišta na urbanom području što uključuje i javni gradski prijevoz ili skraćeno JGP. Isti mora biti primaran način prijevoza u urbanim sredinama budući da isti ima brojne prednosti poput ekonomičnosti, ekološke prihvatljivosti, smanjenja broja cestovnih vozila odnosno smanjenja prometnog zagađenja kao i

brojne druge prednosti. Iz navedenih razloga, posebna pozornost se pridaje prilikom planiranja JGP-a [1].

Uzimajući u obzir perspektivu davatelja usluge JGP-a, brojanje putnika se provodi zbog:

- Sastavljanje izvješća za vanjske ili strane ulagače i nadzorne agencije
- Nadzor i pregled trendova kroz vrijeme
- Analiza iskoristivosti i performansi na različitim razinama JGP-a i
- Identifikacija lokacija s najvećim brojem putnika u vozilo te provođenje korektivnih aktivnosti. [4]

Proces brojanja putnika je skup aktivnosti kojima se sustavno nastoji odrediti primjerene metode i tehnologija za prikupljanje podataka sa svrhom postizanja boljih poslovnih rezultata. Proces brojanja putnika se sastoji od više koraka kao što je prikazano na slici 1:



Slika 1: Proces brojanja putnika

- **Određivanje svrhe brojanja putnika**
  - Brojanje putnika se može provoditi na nekoliko razina u ovisnosti s kojom svrhom se prikupljaju podaci. Prema tome, može se podijeliti na:
    - Sustavnu razinu – svrha prikupljanja podataka na sustavnoj razini je donošenja odluka o planiranju budžeta i financija
    - Rutnu ili linijsku razinu – svrha prikupljanja je planiranje i raspoređivanje prijevoznih sredstava
    - Razina putovanja – svrha prikupljanja jest određivanje o dodavanju ili uklanjanju određene linije JGP-a
    - Razina zaustavljanja - svrha prikupljanja jest određivanje na kojoj lokaciji instalirati zaustavnu stanicu
    - Razina segmenta - svrha prikupljanja jest planiranje usluge prijevoza
  - Tendencija je da u slučajevima manjeg područja posluživanja, tj. kada je riječ o manjem davatelju usluga JGP-a, brojanje putnika se obavlja na „makro“ razini koja podrazumijeva sustavnu i rutnu/linijsku razinu. Međutim, što je veća kompleksnost infrastrukture JGP-a, davatelji usluge prijevoza brojanje putnika provode na „mikro“ razinama; točnije, prethodno spomenute: razina putovanja, razina zaustavljanja i razina segmenta. Osim toga, što se detaljnije gleda na „mikro“ razinama, zahtjevnije brojanje putnika postaje te je potrebna veća tehnička potpora i potpora ljudskih resursa [4].

- Odabir primjerene metodologije i tehnologije
  - Brojanje putnika je skup proces. Iz tog razloga, potrebna je pravilna prenamjena resursa kao i odabir metodologije. Pod time se podrazumijeva učestalost provođenja brojanja putnika kao i brojanje putnika u uzorcima ili kontinuirano brojanje. Kada se priča o učestalosti provođenja brojanja, prvo se treba odrediti svrha prikupljanja podataka o broju putnika. Razlog tome jest taj što različiti podaci su potrebni za prethodno definirane razine. Npr. ukoliko se mora odrediti budžet i financiranje (sustavna razina), brojanje je potrebno provesti jednom mjesečno. Istovremeno, ukoliko se radi izmjena linije gdje se pruža usluga prijevoza (razina putovanja), brojanje se provodi rjeđe, tj. na kvartalnoj bazi.
  - Nadalje, bitan je odabir načina brojanja, tj. kontinuirano brojanje ili brojanje putnika u uzorcima. Iako kontinuirano brojanje nudi pouzdaniju informaciju o stvarnom broju putnika, istovremeno je financijski zahtjevno. Osim toga, razvojem sustava automatskog brojanja putnika i povećanjem pouzdanosti, istovremeno se povećala pouzdanost brojanja putnika na temelju uzoraka. Unatoč tome, ručno brojanje putnika se i dalje primjenjuje.
- Prikupljanje informacije o broju putnika – dio procesa brojanja putnika u kojem se prikupljaju podaci na određenim linijama JGP-a
- Obrada prikupljenih podataka – Analiza i pretvorba podataka u format koji se može interpretirati
- Donošenje odluke – Nakon obrade, na temelju dobivenih podataka donosi se primjerena odluka u ovisnosti o prethodno definiranim razinama

### 2.3. Pregled ručnog i automatskog brojanja putnika

Najpouzdanije informacije o stvarnom broju putnika u vozilu se dobiva na temelju broj ulaska i izlaska na svakoj stanici uzduž linije. Na taj način se prikupljaju informacije s visokom pouzdanošću te na temelju toga, može se odrediti raspodjelu duljine putovanja kao i samu učinkovitost pojedinih linija. Nadalje, na temelju tih informacija, mogu se izraditi vozni redovi, analiza vožnje prijevoznog sredstva, produljenje ili skraćivanje trasa linija kao i dodavanje ili ispuštanje određenih postaja. Međutim, provođenje takvih ispitivanja zahtjeva značajna financijska ulaganja, kao i ostalih resursa, stoga je potrebno uskladiti prikupljanje informacija u skladu s mogućnostima subjekta koje provodi ispitivanje.

Brojanje prometa, tj. putnika se provodi ručnim ili automatskim metodama. Izbor metode prvenstveno ovisi o vrsti informacije koja se prikuplja, vremenskom trajanju brojanja te raspoloživom financijskom budžetu te će se u daljnjim poglavljima napraviti pregled ručnog i automatskog brojanja putnika te njihove prednosti kao i nedostaci.



### 2.3.1 Ručno brojanje putnika

Ručno brojanje prometa provode osobe-promatrači na unaprijed definiranim točkama uz rutu vozila, tj. stanicu ili u samom vozilu. Osobe-promatrači moraju biti pravilno pripremljeni za proces brojanja putnika što najčešće uključuje predložak za brojanje putnika, štopericu, mehanički brojač, itd. Osim toga, način evidentiranja podataka o broju putnika kao i struktura predložka ovise o svrsi brojanja putnika [3].

Nadalje, osobe-promatrači su dužni prilikom brojanja zabilježiti sljedeće:

- Opis brojanja što dalje uključuje:
  - Podaci o liniji i kapacitetu vozila JGP-a i
  - Datum i vrijeme brojanja, bilješke, itd.
  
- Podaci o brojanju po rubrikama što uključuje:
  - Podaci o vozilu JGP-a
  - Vrijeme dolaska vozila i
  - Broj ulazaka i izlazaka osoba u vozilo. [5]

Na temelju navedenog se dobivaju podaci za 30-minutno i 60-minutno vršno i izvanvršno opterećenje kao i prosječno opterećenje vozila u određenim vremenskim intervalima [5]. Također je bitno navesti prednosti i nedostatke ručnog brojanja putnika budući da se ta metoda koristi i danas. Razlozi su višestruki, u ovisnosti o situaciji. Pod time se podrazumijeva da davatelj usluge prijevoza ne raspolaže s resursima ili što ponekad, situacija zahtjeva brojanje manjeg „obujma“ te je neisplativo implementirati sustav automatskog brojanja putnika.

Prednosti ručnog brojanja putnika uključuju:

- Visoka razina pouzdanosti u slučajevima manjeg broja putnika i kada je manji interval mjerenja vršnog prometa
- Predložci su jednostavni pri daljnjoj obradi podataka
- Osobe-promatrači su u mogućnosti zabilježiti „anomalije“ (prometne nesreće, zastoji, kvarovi, vremenske nepogode, itd.) i
- Niski troškovi ukoliko se brojanje putnika provodi u kraćem vremenskom periodu. [6]

Nedostatci ručnog brojanja putnika uključuju:

- Potrebno je obučiti osoblje kako bi mogli učinkovito odraditi proces brojanja putnika
- Potrebna velika količina ljudskih resursa ukoliko je potrebno odraditi brojanje na više lokaciju u isto vrijeme
- Faktor ljudske greške – umor, distrakcija, zaboravljivost osoba-promatrača i
- Ovisnost o vremenskim uvjetima. [6]

Unatoč prednostima koje nudi ručno brojanje putnika, sve se više teži prema automatskom brojanju putnika. Razlog tome jest prvenstveno faktor ljudske pogreške budući da isto može imati velik utjecaj na konačne rezultate na temelju kojih provodi planiranje JGP-a.

### 2.3.2 Automatsko brojanje putnika (engl. *Automatic Passenger Counting* – APC)

Sustavi automatskog brojanja putnika pružaju brojne prednosti u odnosu na ručno brojanje putnika te su poželjna supstitucija prilikom brojanja putnika u vozilima JGP-a. Osim toga, tehnologije automatskog brojanja putnika, iako su još relativna novost na tržištu, dostupne su za prodaju i korištenje u obliku različitih izvedbi. Kada se provodi brojanje putnika, nije potrebna implementacija komponenti APC-a u sva prijevozna sredstva u floti, već se brojanje izvodi u “rotaciji”. Pod time se podrazumijeva da se komponente uklanjaju i implementiraju po pojedinim linijama JGP-a po potrebi te se procjenjuje da otprilike 10 % kompletne flote vozila u svakom trenu ima implementirano APC u vozilima. [4]

Nadalje, glavne prednosti koje APC nudi su:

- Isključivanje faktora ljudske greške prilikom brojanja putnika
- Brzo i ažurno prikupljanje i obrada podataka
- Kontinuirana pouzdanost rezultata brojanja putnika (>95 %) u odnosu na ručno brojanje putnika gdje pouzdanost može varirati
- Omogućuje rad u svim vremenskim uvjetima
- Mogućnost brojanja više uzastopnih dana zaredom na istoj liniji sa ciljem detekcije nepravilnosti, tj. varijacija u broju putnika
- Prikupljanje informacija i donošenje zaključka na temelju kojih se optimizira linija JGP-a. [7]

Unatoč brojnim prednostima koje nudi sustavu automatskog brojanja putnika, također postoje nedostaci koji mogu onemogućiti ili otežati korištenje:

- Potrebna velika početna investicija prilikom integracije APC-a u vozila
- Pouzdanost nije 100 % - često se dogodi da se broj ulaza i izlaza putnika ne podudara
- APC nisu u mogućnosti identificirati izvanredne događaje – npr.; odstupanje nastaje kada putnik nakon ulaska u vozilo i prije dolaska na svoje odredište, napusti vozilo kako bi omogućio prolaz drugim putnicima te ponovno uđe u vozilo. U takvim slučajevima dolazi do dvostrukog brojanja istog putnika. [7]

Glavna karakteristika automatskog brojanja putnika jest ta da je to zapravo sustav. Pod time se podrazumijeva da taj sustav čini skup komponenti koji vrše detekciju, tj. ulazak i izlazak putnika, obradu prikupljenih i pohrana podataka. Detaljniji pregled APC-a biti će napravljen u nastavku rada.

### 3. Značajke bežične mreže kao temelj sustava automatskog brojanja osoba

Računalna mreža je sustav kojim se povezuju različiti i/ili slični uređaji u jednu skladnu cjelinu. To je sustav komunikacija između dva ili više neovisnih računala međusobno povezanih jedinstvenom tehnologijom. Računala su umrežena ako isti mogu međusobno razmjenjivati podatke. Glavni razlozi, tj. prednosti umrežavanja računala jesu:

- Dijeljenje resursa
- Jednostavna komunikacija između korisnika računala
- Optimizacija poslovnih procesa
- Brza i učinkovita razmjena velike količine podataka i
- Ubrzan razvoj svih grana znanosti. [8]

Kao što se može vidjeti u prethodnom navođenju prednosti, računalne mreže, imaju široku primjenu u svakom aspektu svakodnevnog života. Istovremeno, zbog takve široke primjene, kompleksna klasifikacija mreža je potrebna. Razlog tome jest taj što prilikom projektiranja, implementacije ili optimizacije mreže; različite specifikacije, funkcionalnosti moraju biti ispunjene kako bi se zadovoljili definirani zahtjevi. Prema navedenome, arhitektura mreža se može klasificirati prema:

- Elementima, tj. mrežni terminalni i mrežna oprema
- Topologiji (zvjezdasta mreža, stablasta mreža, prstenasta mreža, itd.)
- Načinu korištenja usluge
- Vlasništvu; uzimajući u obzir način korištenja i u kakve svrhe se koriste, mogu biti privatne i javne mreže
- Obuhvatu područja kako je prikazano na tablici 1:
  - Privatne mreže (PAN ili engl. *Personal Area Network*)
  - Lokalne mreže (LAN ili engl. *Local Area Network*)
  - Gradske mreže (MAN ili engl. *Metropolitan Area Networks*)
  - Globalne mreže (WAN ili engl. *Wide Area Network*) i
  - Internet [8]

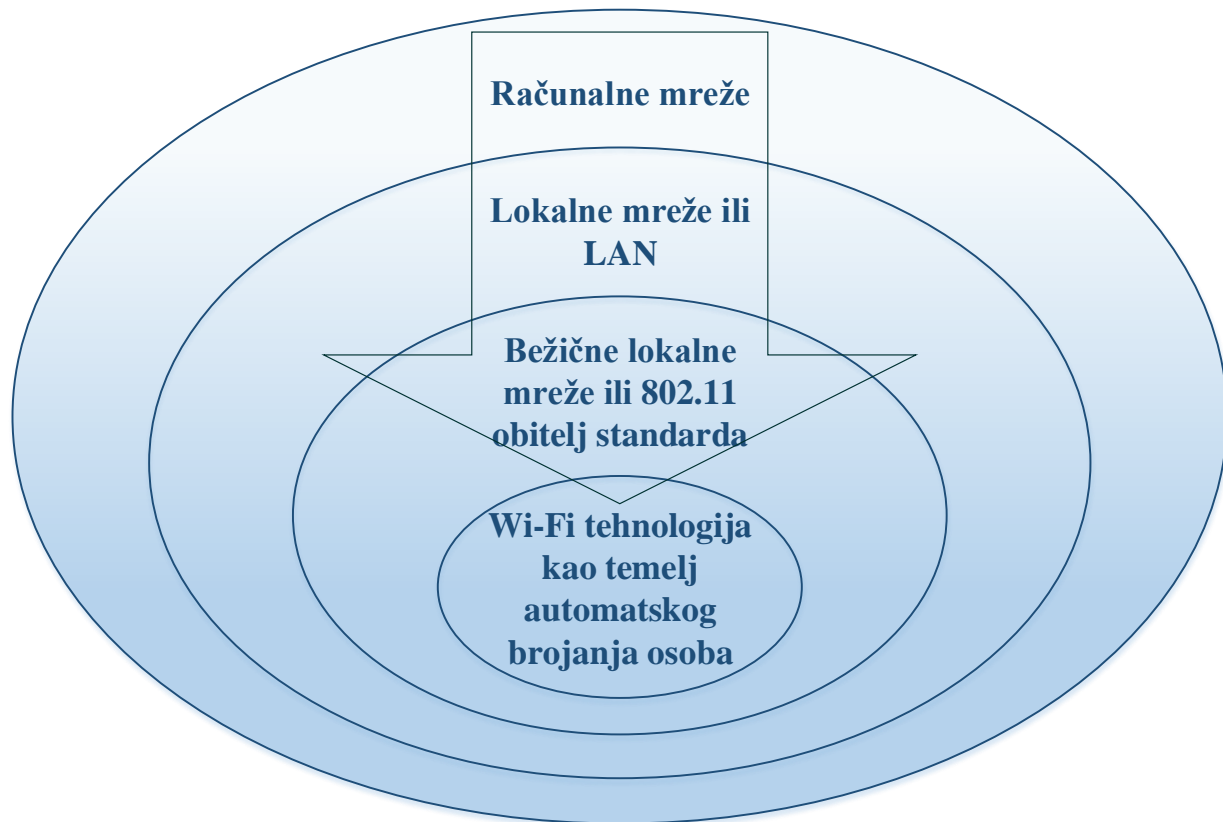
Tablica 1: Računalne mreže prema obuhvatu područja

Udaljenost	Primjer područja	Primjer
1 m	Metar kvadratni	Privatne mreže ili PAN
10 m	Soba	
100 m	Zgrada	

1 km	Kampus	Lokalne mreže ili LAN
10 km	Grad	Gradske mreže ili MAN
100 km	Država	Globalne mreže
1000 km	Kontinent	Globalne mreže
10,000 km	Planet	Internet

Izvor: [9]

Jedna od bitnijih klasifikacija jest upravo prema obuhvatu područja. Razlog tome jest taj što na temelju obuhvata područja, jasno se može utvrditi koja tehnologija ili izvedba tehnologije je potrebna za daljnje projektiranje i implementaciju mreže.



Slika 2: Hijerarhijski pregled područja interesa diplomskog studija – od računalnih mreža do Wi-Fi kao temelja APC-a

Za diplomski rad, bitne su lokalne, tj. bežične lokalne mreže. Stoga će se dalje u tekstu rada detaljnije navesti i pojasniti prvo lokalne računalne mreže, zatim značajke bežične lokalne mreže te načini brojanja putnika koji se temelje na Wi-Fi tehnologiji prema redoslijedu kako je prikazano na slici 2.

### 3.1. Lokalne mreže (LAN ili engl. *Local Area Network*)

Nakon komercijalizacije računala, ista su vrlo brzo postala široko primjenjivana u poslovnim ekosustavima. Nadalje, umjesto da svako računalo u uredu ima jedan printer, mreža računala je u mogućnosti dijeliti jedan printer. Osim toga, umrežavanje računala je eliminiralo potrebu za fizičkim medijem (USB, CD, itd.) za prijenos podataka. Problem je nastao prilikom povezivanja računala gdje je svako računalo bilo povezano svako sa svakim; što nije bilo praktično. Rješenje za navedeni problem je predstavljeno u obliku lokalne mreže. Lokalna mreža je u pravilu privatna mreža koja djeluje unutar ili oko periferije zgrada, ureda, instituta, itd. te povezuje skup računala preko zajedničkog prijenosnog medija. Lokalne mreže su u pravilu povezane s kabelskom infrastrukturom. Dijeljenjem jednog kabla, svako računalo zahtjeva jednu konekciju s kojom može uspješno komunicirati s drugim računalima u mreži. Lokalne mreže se koriste kako bi se povezala računala na istoj periferiji sa svrhom dijeljenja resursa i izmjene informacija. Unatoč prednostima, lokalne mreže su ponekad neizvedive u kontekstu provedbe kableske infrastrukture. Razlozi mogu biti razni, međutim isti se svode na to da je neisplativo ili nedopušteno provoditi kabelsku infrastrukturu. Nadalje, pojavila se potreba za mobilnošću korisnika što uzrokuje potrebu za dinamičnom vrstom mreže koje žične lokalne mreže nisu u mogućnosti podržati [10].

### 3.2. Bežične lokalne mreže (WLAN) ili 802.11 mreže

Kao odgovor na probleme s žičnom infrastrukturom i potrebom za dinamičnom mrežom, razvijena je bežična lokalna mreža ili WLAN (engl. *Wireless Local Area Network*). Glavna svrha WLAN-a je omogućiti pristup mreži mobilnim korisnicima ili uređajima koristeći radiovalove čime se eliminira potreba za skupom provedbom kablova. Bežične lokalne mreže su započele svoj razvoj 1997. godine kada je IEEE objavio prvi standard kojima su definirani i specificirani fizički i podatkovni slojevi koji moraju zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

- Protokol mora zadovoljiti stanice koje su fiksne, prijenosne ili mobilne unutar lokalnog područja.
- Protokol mora omogućiti bežičnu povezanost automatskim strojevima, opremi ili stanicama koji zahtijevaju brzu implementaciju te
- Protokol mora biti primjenjiv na globalnoj razini. [10]

Nakon definiranja zahtjeva, moralo se odrediti na kojem frekvencijskom području će 802.11 mreže djelovati. Umjesto da se koriste skupa i licencirana frekvencijska područja, odlučilo se da će se koristiti nelicencirana frekvencijska područja; točnije ISM (engl. *Industrial, Scientific and Medical*) područja definirana od strane ITU-R (npr. 902-928 MHz, 2.4-2.5 GHz, 5.725-5.825 GHz) [11].

Od početne ratifikacije 802.11 standarda od strane IEEE-a, objavljen je velik broj verzija standarda od kojih se neki mogu vidjeti u tablici 2.

Tablica 2: IEEE 802.11 standardi i amandmani

802.11 Protokol	Godina odobranja	Pojasna širina (MHz)	Frekvencija (GHz)	Medij	Pokrivenost na otvorenim prostorima (metar)	Pokrivenost u zatvorenim prostorima (metar)
<b>Original</b>	Lipanj 1997.	20	2.4	DSSS i FHSS	21.33	100.58
<b>a</b>	Rujan 1999.	20	5	OFDM	35.05	152.4
<b>b</b>	Rujan 1999.	20	2.4	DSSS	35.05	152.4
<b>g</b>	Lipanj 2003.	20	2.4	OFDM i DSSS	38.1	152.4
<b>n</b>	Listopad 2009.	od 20 do 40	od 2.4 do 5	OFDM	76.2	259.08
<b>ac</b>	Prosinac 2013.	od 20 do 160	do 866.7	OFDM		
<b>af</b>	Veljača 2014.	od 54 do 790		OFDM		

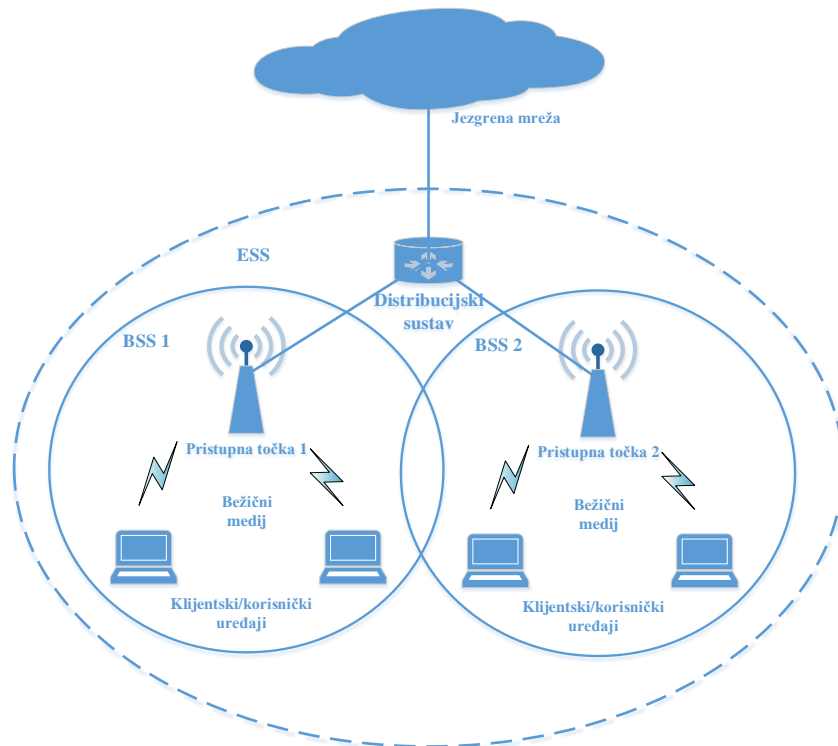
Izvor: [10]

Donošenjem novih verzija standarda, mijenjale su se prijenosne tehnike, brzine kao i frekvencijska područja na kojima 802.11 mreže djeluju te je sa svakom novom verzijom standarda dolazilo te još uvijek dolazi do povećanja kapaciteta i mogućnosti bežičnih mreža. Izvedba brojanja osoba temeljeno na WLAN tehnologiji može biti raznovrsno implementirana. Međutim, prije nego što se krene u detalje, navesti će se određene pojedinosti WLAN mreža koje su bitne za temu ovog diplomskog rada.

### 3.3. Karakteristike WLAN mreža bitnih za brojanje osoba

WLAN mreža se sastoji od četiri glavne komponente, tj. distribucijskog sustava (engl. *Distribution System* ili DS), pristupne točke (engl. *Access Point* ili AP), bežičnog medija te klijentskog ili korisničkog uređaja. Distribucijski sustav povezuje dva ili više AP-ova WLAN mreže. Zatim, pristupna točka je uređaj koji omogućuje bežičnim, tj. klijentskim uređajima pristup ostatku mreže. Pristupna točka može imati četiri načina rada; točnije *Root*, *Client*, *Bridge* i *Repeater* modove od kojih se najviše koristi *Bridge* mod gdje AP uređaj radi kao bežični most i

koristi se za spajanje dvaju ili više mreža. Klijentski uređaj je uređaj s bežičnim mrežnim sučeljem, tj. ugrađenom mrežnom karticom koji mogu biti prijenosni ili mobilni. Nadalje, bitna je topologija 802.11 mreža, koje mogu biti infrastrukturne i *Ad Hoc* topologije od kojih je za ovaj rad bitna infrastrukturna topologija. Infrastrukturnu topologiju čini najmanje jedan AP koja je u pravilu stacionaran, tj. žično spojen na mrežu te ima stabilno područje pokrivenosti na kojem djeluje. Infrastrukturna topologija se u pravilu koristi u korporativnom okruženju te nije neuobičajeno da postoji više AP-ova. Ukoliko postoji više AP-ova, znači da postoji više BSS-ova koji su međusobno povezani s DS-om koji je dalje spojen na Internet ili intranet. Više BSS-ova zajedno čine *Extended Service Set* (ESS) [10]. Navedeno se može vidjeti na slici 3.



Slika 3: Infrastrukturna topologija s komponentama WLAN mreže

Izvor: [12]

Jedan od načina definiranja mreža jest prema uslugama koje se omogućuju te na temelju toga, proizvođači mrežne opreme implementiraju usluge, tj. dizajniraju opremu da pruža te iste usluge. Prema 802.11 standardu, definirano je devet vrsta usluga koje se mogu vidjeti u tablici 3.

Tablica 3: Usluge 802.11 mreže

Usluga	Opis
--------	------

<b>Distribucija</b>	Usluga korištena od strane klijentskih, tj. korisničkih uređaja. Kada je podatkovni okvir prihvaćen od strane AP -a, isto koristi uslugu distribucije kako bi dostavio okvir do odredišta.
<b>Integracija</b>	Usluga pružena od strane DS-a na način da dopušta povezivanje DS-a i mreže koja nije 802.11.
<b>Asocijacija</b>	Dostava podatkovnih okvira do klijentskog, tj. korisničkog uređaja se odvija na temelju registracije, tj. asocijacije s AP-om. Zatim, DS može koristiti podatke o registraciji za određivanje koji za određivanje koji klijentski uređaj je spojen na koji AP
<b>Reasocijacija</b>	Kada se klijentski uređaj kreće između dva BSS-a; koji su unutar zajedničkog ESS-a; isti mora evaluirati snagu signala i prebaciti se jednog AP-a na drugi; tj, s jednog BSS-a na drugi. Reasocijacija je inicirana od strane klijentskih, tj. mobilnih uređaja kada snaga signala ukaže da asocijacija s drugim AP-om daje pouzdaniju kvalitetu usluge, tj. jači signal.
<b>Diasocijacija</b>	Usluga raskidanja postojeće asocijacije. Kada je diasocijacija izvršena, klijentski uređaj više nije spojen na mrežu.
<b>Autentifikacija</b>	Izvršava se prije procesa asocijacije kako bi samo autorizirani korisnici pristupili mreži.
<b>Deautentifikacija</b>	Raskida se autentificirana veza s klijentskim uređajem. Kao posljedica, dolazi do diasocijacije.
<b>Privatnost</b>	Omogućuje zaštitu protiv "prisluškivanja", tj. presretanje komunikacije
<b>MSDU dostava</b>	Dostava podatka na odredište, tj. primatelju

Izvor: [13]

Kako bi se klijentski uređaj mogao asociirati s pristupnom točkom, potrebno je „locirati“ AP-ove koji su dostupni preko bežičnog medija. Navedeno se zove proces skeniranja. Skeniranje može biti aktivno i pasivno. Aktivno skeniranje je proces kada klijentski uređaj odašilje zahtjev koji se zove *probe request* nakon čega čeka odgovor od AP-a. Kada je riječ o pasivnom skeniranju, klijentski uređaj „osluškuje“ *beacon* kojeg odašilju AP-ovi. Na temelju skeniranja, započinje se proces asociiranja kako bi se klijentski uređaj mogao povezati s AP-om [14].

Nadalje, mobilnost, tj. roaming je sastavni dio 802.11 mreža. Uređaji se mogu kretati i pritom komunicirati s drugim uređajima na mreži. Mobilnost uređaja mogu izazvati tri vrste prijenosa, međutim za ovaj rad su bitne dvije vrste prijenosa, točnije:

- Bez prijenosa klijentskog uređaja - klijentski uređaj ne izlazi iz područja pokrivenosti pristupne točke te ne postoji potrebna za mijenjanjem pristupne točke, tj. BSS-a.
- Tranzicija klijentskog uređaja između BSS-ova - klijentski uređaji kontinuirano nadziru snagu signala sa svih dostupnih pristupnih točaka koji su u području pokrivenosti, tj. unutar ESS-a. Kada klijentski uređaj prelazi s područja pokrivenosti jednog AP-a na područje



pokrivenosti drugog AP-a; isti prestaje biti povezan s prvim AP-om i spaja se na drugi AP bez da dolazi do prekida veze s Internetom. Takav proces se još može nazvati i reasocijacijom. [13]

Sljedeća bitna stavka jest planiranje WLAN mreže koja se može prikazati u obliku životnog ciklusa koji podrazumijeva definiranje zahtjeva, dizajniranje plana mreže, implementacija i optimizacija te dokumentiranje, nadzor i održavanje. Svi navedeni dijelovi životnog ciklusa daju odgovor na skup pitanja kako bi se mogla implementirati WLAN mreža koja će moći odgovoriti na sve zahtjeve postavljene pred istu [15].

Kako bi se razumjela potreba za navedenim, na zamišljenom primjeru će se navesti primjena istoga, točnije provedba WLAN mreže u vozilo JGP-a sa svrhom pružanja putnicima pristup Internetu. Prije nego što se krene s implementacijom WLAN mreže, mora se proći kroz sve korake životnog ciklusa kako bi zahtjevi bili ispunjeni što podrazumijeva određivanje broja AP-ova, interferencija, odnos signal-šum, prijenosne brzine, itd. Kada se ispune zahtjevi i utvrdi broj AP-ova, isto će činiti jedan ili više BSS-ova te će više BSS-ova činiti ESS. Kako bi putnici u vozilu pristupili internetu sa svojim klijentskim uređajima, tj. koristili usluge 802.11 mreže (MSDU dostava, privatnost, integracija, itd.), moraju se spojiti, tj. asociirati na AP. Asociiranjem na AP, putnik, tj. klijentski uređaj dobiva pristup WLAN-u koji je preko DS-a dalje spojen na internet ili jezgrenu mrežu. Nadalje, ukoliko ima više AP-ova u vozilu i putnik se odluči kretati s jednog dijela vozila na drugi, tj. krene prelaziti s područje pokrivenosti jednog AP-a na područje pokrivenosti drugog AP-a, dolazi do procesa reasocijacije; tj. tranzicija klijentskog uređaja između dva BSS-a ili roaming. Izlaskom iz vozila ili odspajanjem s AP-a u vozilu, dolazi do diasocijacije.

### 3.4. WLAN tehnologija kao temelj automatskog brojanja osoba

Postoji više izvedbi sustava automatskog brojanja osoba koji se temelji na WLAN tehnologiji. Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, odabir tehnologije ali i izvedbe pojedinačne tehnologije ovisi o financijskom mogućnostima kao i mogućnostima infrastrukture organizacije koja želi implementirati tehnologiju. Prema tome, identificirana su tri načina brojanja osoba temeljena na WLAN tehnologiji:

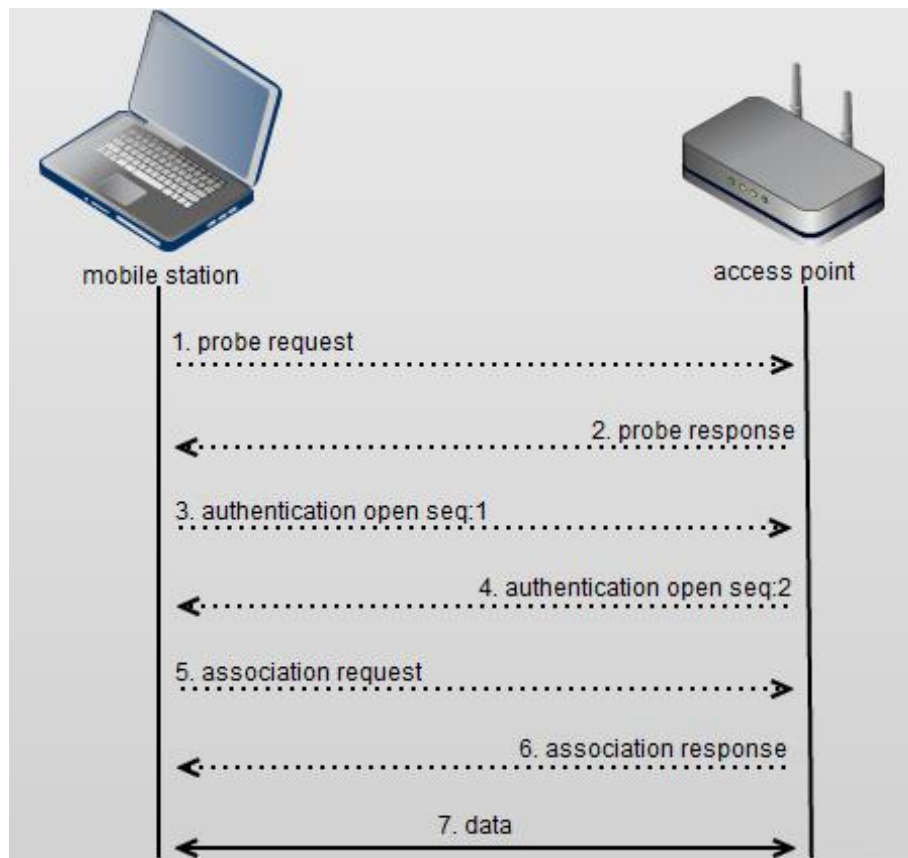
- Brojanje osoba, tj. klijentskih uređaja na temelju asocijacije
- Brojanje klijentskih uređaja na temelju aktivnog skeniranja i
- Brojanje klijentskih uređaja na temelju pasivnog skeniranja.

Od sva tri načina brojanja osoba, jezgreni koncept se temelji na procesu ili na dijelovima procesa asocijacije. Asocijacija je proces registriranja klijentskog uređaja na pristupnu točku kako bi mogao pristupiti bežičnoj mreži, a i samim time Internetu. Iz tog razloga, detaljnije će se pojasniti proces asocijacije.

Pristupne točke su zapravo „mostovi“, tj. sučelja preko kojih se prenosi podatkovni promet između klijentskih uređaja koji su spojeni na AP i uređaja koji su spojeni na mrežu. Prije nego klijentski uređaj počne slati podatkovni promet preko AP-a, isti mora biti u odgovarajućem stanju. U 802.11 mrežama, postoje tri stanja povezanosti:

- Povezanost bez autentifikacije i asocijacije
- Povezanost s autentifikacijom, ali bez asocijacije te
- Povezanost s autentifikacijom i asocijacijom. [16]

Kako bi klijentski uređaj bio u mogućnosti slati i primiti podatke preko AP-a, isti mora biti asociiran i autentificiran. Kako bi se klijentski uređaj i AP došli u stanje povezanosti s autentifikacijom i asocijacijom, moraju se izmijeniti niz 802.11 upravljačkih okvira kao što je prikazano na slici 4 [16].



Slika 4: Razmjena upravljačkih okvira između klijentskog uređaja i pristupne točke, [16]

Klijentski uređaj šalje *probe request* kako bi otkrio postojeće 802.11 mreže u svojoj blizini. *Probe request* sadrži podatke o specifikacijama klijentskog uređaja poput podržanih prijenosnih brzina i podržanog standarda te na isti, pristupne točke odgovaraju. Nakon što pristupna točka detektira *probe request*, ista mora provjeriti da li je kompatibilna s klijentskim uređajem. Ukoliko je AP kompatibilan, isti šalje *probe response* u kojem se nalazi ime mreže, tj. SSID (engl. *Service*

*Set Identifier*), podržane prijenosne brzine kao i ostale specifikacije AP-a. Nakon navedene razmjene *probe request*-a i *probe respons*-a, riječ je o povezanosti bez autentifikacije i asocijacije. Zatim, klijentski uređaj šalje 802.11 autentifikacijski okvir AP-u kako bi se započela autentifikacija. Nakon što AP primi autentifikacijski okvir, šalje odgovor nakon čega se završava autentifikacija. Time je postignuta povezanost s autentifikacijom, ali bez asocijacije. Nakon što klijentski uređaj odredi na koji AP se želi spojiti, šalje *association request* prema željenom AP-u u kojem se nalazi podaci o vrsti enkripcije kao i ostale 802.11 mogućnosti. Kada AP primi *association request*, AP će na temelju toga odrediti da li zahtjevi klijentskog uređaja odgovaraju specifikacijama AP-a. Ukoliko odgovaraju, AP će stvoriti *Association ID* za klijentski uređaj i odgovoriti s *association response* kojim se daje pristup klijentskom uređaju. Nakon toga, klijentski uređaj može početi slati i primati podatke te je time postignuta povezanost s autentifikacijom i asocijacijom [16].

#### 3.4.1. Brojanje klijentskih uređaja na temelju asocijacije

Glavna svrha asocijacije je omogućavanje klijentskim uređajima pristup Internetu. Pristupne točke koje su predviđene za korporativnu uporabu, tj. moraju podržati veći broj klijentskih uređaja u pravilu imaju veći broj funkcionalnosti od onih koji predviđeni za kućnu uporabu. Pod time se podrazumijeva da imaju veći broj administrativnih mogućnosti. Nadalje, AP-ovi dolaze s unaprijed definiranim specifikacijama čija je glavna svrha upravljanje i optimizacija rada istog. Npr. mogu se mijenjati kanali na kojem AP radi, *lease time*, spremanje log datoteka u memoriju AP-a, itd.. Kako bi uređaj pristupio WLAN-u, tj. AP-u; AP prikuplja MAC adrese klijentskih uređaja te im dodjeljuje IP (engl. *Internet Protocol*) adresa na temelju DHCP-a (engl. *Dynamic Host Configuration Protocol*). Osim toga, IP adrese imaju *lease time* kojim je definirano koliko vremena klijentski uređaj ima „rezerviranu“ dodjeljenu IP adresu [17]. *Lease Time* ovisi o specifikacijama AP-a te se isti može povećati i smanjiti. Osim toga, jedna od mogućnosti koje korporativni AP-ovi omogućuju je spremanje log datoteka u memoriju AP-a.

Unatoč svim mogućnostima, AP-ovi nisu predviđeni za automatsko brojanje osoba, tj. klijentskih uređaja; međutim, mogu se prenamijeniti postojeće mogućnost kako bi se došlo do tog broja. Pod time se podrazumijeva da se prikuplja broj IP i MAC adresa klijentskih uređaja u nekom određenom vremenskom periodu. Kako bi IP adresa ostala nepromijenjena, *lease time* se mora postaviti na određeno vrijeme u ovisnosti s trajanjem prikupljanja podataka. Zatim, potrebno je konfigurirati AP-a da pohranjuje navedene podatke u obliku log datoteka u memoriju AP-a. Nakon što prođe predviđeno trajanje brojanja uređaja, pregledom log datoteke se može utvrditi koliko klijentskih uređaja spojeno u nekom vremenskom intervalu. Također postoji mogućnost da memorija od AP-a je ograničena, međutim može se kompenzirati s povećanjem broja brojanja klijentskih uređaja.

### 3.4.2. Brojanje klijentskih uređaja na temelju aktivnog skeniranja

Aktivno skeniranje je proces u kojem klijentski uređaj traži dostupne WLAN mreže na koje se može spojiti. Klijentski uređaji koji imaju 802.11 mogućnosti periodički provode slanje kontrolnog okvira koji se zove *probe request* (PR) kojim se zapravo inicira proces asocijacije. Svrha slanja kontrolnog okvira jest prikupiti informacije o dostupnim pristupnim točkama na svim kanalima frekvencijskog područja te na koje se klijentski uređaj može asociirati. PR sadrži informacije o tehničkim mogućnostima klijentskog uređaja te isti traži AP koji može zadovoljiti zahtjeve klijentskog uređaja. Budući da je PR poslan na adresu za emitiranje, svi AP-ovi koji prime, tj. detektiraju PR moraju isti pregledati i odgovoriti. Proces skeniranja se događa kontinuirano dokle god je Wi-Fi komponenta uključena na klijentskom uređaju i neovisno da li je uređaj spojen na pristupnu točku ili ne. Klijentski uređaji imaju lokalno pohranjenu listu (preferirane mreže) koja sadrži informacije o poznatim mrežama na kojima se uređaj spojio barem jedanput. Prema tome, uređaj kontinuirano traži poznate, tj. preferirane pristupne točke kako bi se isti mogao automatski spojiti na njih. Čak i kad je korisnički uređaj spojen na mrežu, isti nastavlja proces skeniranja pritom tražeći mreže s jačom snagom signala kako bi se omogućila najbolja moguća kvaliteta za korisnika uređaja. Glavna prednost korištenja PR-a kao temelja za brojanje klijentskih uređaja jest mala količina podataka potrebnih za obradu. Osim toga, PR odašilju samo klijenti što uklanja potrebu za filtriranjem AP-ova [18]. Vrijeme između dva uzastopna slanja PR-ova je reprezentativnih 10 milisekundi, međutim to ovisi o modelu klijentskog uređaja [19]. Osim toga, PR-ovi se češće šalju kada je klijentski uređaj u upotrebi. Budući da se slanje *probe request* okvira obavlja prioritetno, isti se šalju preko bežičnog medija bez ikakve zaštite, tj. enkripcije [18]. Osim što *probe request* sadrži podatke o specifikacijama uređaja (prijenosne brzine, podržani 802.11 standardi, itd.), isti sadrži MAC adresu od klijentskog uređaja, vremensku oznaku (vrijeme detekcije PR-a) kao i vrijednost RSSI-ja (engl. *Received Signal Strength Indication*), tj. snage signala [20]. Brojanje klijentskih uređaja temeljeno na PR-u je najčešća izvedba kada je riječ o brojanju osoba temeljeno na WLAN, tj. Wi-Fi tehnologiji. Brojanje temeljeno na aktivnom skeniranju se može izvesti na temelji Wi-Fi senzora ili uređaja specijaliziranih za detekciju PR-ova te pomoću AP-a.

Kada se priča o sensorima, čija je glavna svrha izravna detekcija PR-a čime se određuje broj klijentskih uređaja. Takva izvedba automatiziranog brojanja osoba već ima komercijalna rješenja s implementiranim softverima koji obavljaju samo brojanje osoba, tj. klijentskih uređaja kao i pohrana na lokalnu memoriju ili prosljeđivanje podataka na server gdje se vrši obrada i pohrana.

Kada je riječ o AP-u, isti ima opciju prosljeđivati PR-ove na WLAN *controller*, tj. distribucijski sustav, koji je dalje spojen s internetom žično ili bežično (širokopojasni pristup internetu preko mobilne mreže) [21]. Nadalje, DS zatim može iste PR-ove prosljeđivati na server gdje se podaci obrađuju i pohranjuju. Osim navedenog, može se koristiti terminal (npr. laptop ili *Raspberry Pi*) koji mora imati mrežnu karticu te ista mora biti postavljena u *monitor* mode kojim se omogućuje nadzor i pregled svog mrežnog prometa od AP-ova i klijentskih uređaja u blizini. Kako bi se obavio

nadzor odnosno analiza prometa, potrebno je koristiti određeno softversko rješenje (npr. programski alat *Wireshark*) koje omogućuje filtrirano pretraživanje PR-ova [22].

Brojanje klijentskih uređaja se temelji na MAC adresi budući da je ista jedinstvena za svaki uređaj. Problem nastaje zato što se može dogoditi da se detektiraju uređaji koji su van periferije prostora na kojem se želi utvrditi broj uređaja, ali su unutar pokrivenosti AP-a. Međutim, isto se kompenzira na način da se bilježenje vrši intervalno. Pod time se podrazumijeva da se broje samo MAC adrese koje se ponavljaju više puta unutar nekog vremenskog intervala. Iako se brojanje MAC adresa ispostavilo korisnim, isto je predstavljalo problem privatnosti budući da se mogu vidjeti informacije o korisničkom uređaju. Iz tog razloga, sa kasnijim verzijama Android i iOS operativnih sustava, implementirao se koncept randomizacija MAC adrese kojom se periodički mijenja ista čime se utječe na pouzdanost brojanja klijentskog uređaja. Unatoč tome, razvijaju se rješenja (u kontekstu brojanja klijentskih uređaja) kako bi se zaobišao „problem“ lažnih MAC adresa klijentskih uređaja.

### 3.4.3. Brojanje klijentskih uređaja na temelju pasivnog skeniranja

Pasivno skeniranje je vrsta skeniranja gdje klijentski uređaj ne inicira traženje dostupnih WLAN mreža. Naime, klijentski uređaj „sluša“ na svakom kanalu, tj. čeka *beacon* kojeg odašilje AP svakih 100 milisekundi. AP kontinuirano odašilje *beacon* na svojem području pokrivenosti u kojem se nalazi ime mreže, tj. SSID (engl. *Service Set Identifier*) [19]. Brojanje osoba temeljeno na pasivnom skeniranju podrazumijeva korištenje terminala (npr. laptop) koji skuplja podatke iz okoline. Navdenu podrazumijeva da klijentski uređaji mjere snagu signala *beacon*-a primljenog od AP-a te nakon toga prosljeđuju iste podatke na terminal gdje se vrši daljnja obrada. Zatim se uklanjaju vrijednosti snage signala koja je su van definirane granice kojom se podrazumijeva da klijentski uređaj je van zone mjerenja, tj. brojanja. Navedena metodologija je opisana u radu autora [23].

## 3.5. Primjena brojanja osoba temeljenog na WLAN tehnologiji

Brojanje osoba je našlo široku primjenu prvenstveno u tercijarnom sektoru gdje je glavna svrha optimizacija postojećih resursa. Na temelju broja osoba ili putnika, prikupljaju se informacije na temelju kojih se može dobiti uvid u učinkovitost planirane strategije organizacije ili poduzeća na temelju kojih se donosi odluka o daljnjoj provedbi ili izmjeni strategije. Nadalje, široka primjena sustava automatskog brojanja putnika/osoba se može vidjeti u maloprodajnim lancima, trgovačkim centrima, javnom prijevozu, itd.

U maloprodajnim lancima, broj osoba može dati informaciju o konverziji, tj. odnos između broja osoba koji su u posjetu u poslovnom objektu i broju uspješnih prodaja. Zatim, može se

odrediti učinkovitost marketinške kampanje na temelju povećanja ili smanjenja posjećenosti poslovnog objekta i prodaje te planiranje i prenamjena ljudskih resursa. U trgovačkim centrima se daje uvid u popularnost pojedinih brendova na temelju kojih se može utvrditi isplativost održavanja i ulaganja u poslovnicu na nekom području [24]. U javnom gradskom prijevozu, broj putnika omogućuje pregled kada je potražnja za prijevoznim sredstvima najveća. Na temelju tih informacija, može se donijeti odluka o alokaciji ili prenamjeni resursa kao i daljnje planiranje javnog gradskog prijevoza. Kao što se može vidjeti iz navedenog, primjena sustava automatskog brojanja putnika je raznovrsna. Unatoč tome, svaka od primjena imaju istu svrhu; prikupljanje informacija na temelju kojih se izvršava optimiziranje poslovanja organizacije.

Kao što je prethodno navedeno, glavna prednost WLAN tehnologije je njezina dostupnost, široka primjena kao i jednostavnost uporabe i implementacije u poslovni objekt ili prijevozno sredstvo. Upravo iz tog razloga se razvijaju rješenja u obliku sustava automatskog brojanja putnika ili osoba koja koristi WLAN, tj. Wi-Fi tehnologiju kao temelj za prikupljanje podataka. Također, postoje komercijalna rješenja predviđena za maloprodajne lance kao i trgovačke centre; međutim univerzalnog, komercijalnog rješenja za JGP trenutno nema zbog dinamičnosti prometa, specifičnosti zahtjeva i mogućnosti pojedinih davatelja.

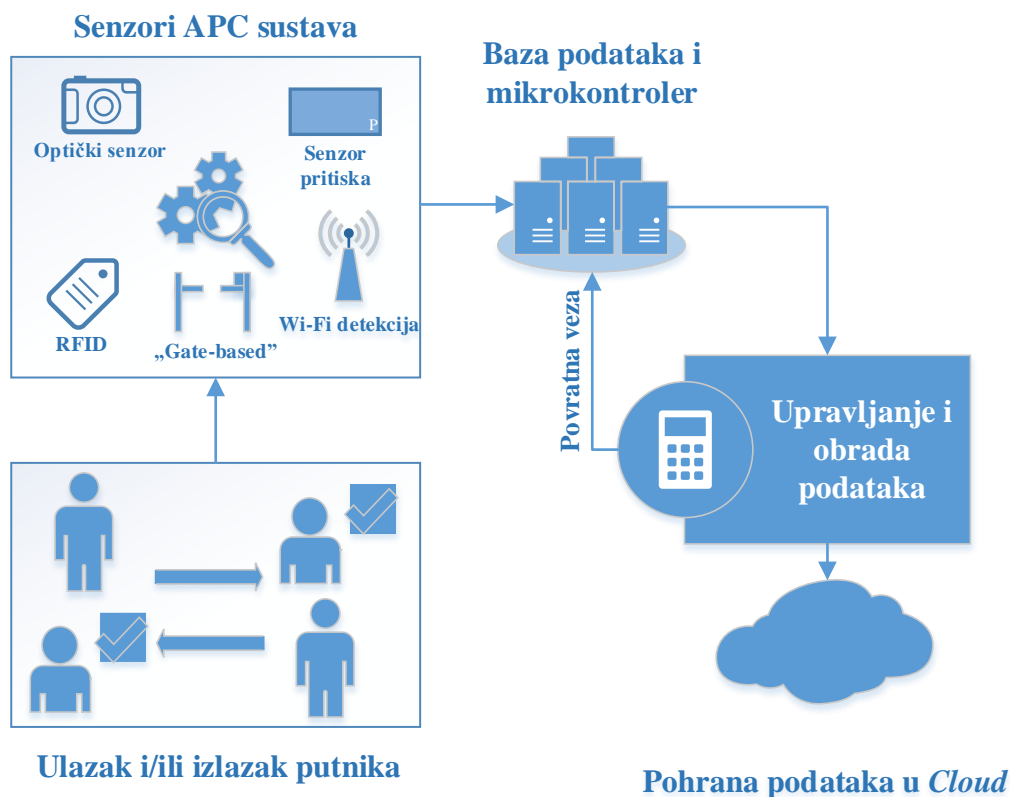
## **4. Implementacija sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji u vozilima javnog gradskog prijevoza**

Sve se više teži prema automatizaciji sustava brojanja putnika u JGP-u sa svrhom smanjivanja ljudske interferencije odnosno kako bi se uklonila najslabija karika u lancu - ljudski faktor. Kao što je prethodno spomenuto, postoji velik broj komercijalnih rješenja automatskog brojanja osoba koji su dostupni za implementaciju, međutim primjena istih u vozilima JGP-a još uvijek nema široku primjenu. Razlozi su višestruki, ali se svode na to da davatelji usluga JGP-a nemaju financijsku moć za nabavku automatiziranih brojača te ne postoji univerzalno rješenje koje je primjenjivo u svim situacijama. Unatoč tome, sve se više provode pilot testiranja s komercijalnim proizvodima kao i „improviziranim“ rješenjima (npr. temeljenima na *Raspberry Pi* računalima) u vozilima JGP-a. Nadalje; budući da je u pravilu riječ o pilot testiranjima, korištena tehnologija za brojanje putnika je slična, ako ne i ista; međutim, sama izvedba tehnologija na kojima se temelje sustavi automatskog brojanja putnika se razlikuju. Iz tog razloga, prije nego što se krene u detaljniju razradu procesa brojanja putnika, potrebno je napraviti pregled, tj. klasifikaciju sustava automatskog brojanja putnika.

### **4.1. Klasifikacija sustava automatskog brojanja putnika**

Glavna karakteristika sustava automatskog brojanja putnika se očituje u tome što su u mogućnosti odgovoriti na zahtjeve koji su nametnuti zbog dinamičnosti kretanja putnika unutar vozila ili infrastrukturi JGP-a. Postoje brojne inovativne tehnologije i izvedbe istih kojima se nastoje prikupiti podaci i unatoč međusobnim razlikama, temeljni koncept funkcioniranja sustava su slični i u nekim slučajevima isti.

Putnici ulaze i/ili izlaze u vozilo ili infrastrukturu JGP-a što detektira komponenta, tj. senzor APC sustava. Prikupljeni podaci se zatim šalju u bazu podataka koja je povezana sa sustavom upravljanja i obrade podataka gdje se provodi brojanje putnika. Istovremeno, postoji povratna veza između baze podataka i sustava obrade u slučajevima da je potrebno mijenjati konfiguraciju komponenti APC-a. Pod time se podrazumijeva da se očekuje pogreška kod brojanja u sustavima APC-a te sustav upravljanja i obrade korigira brojanje u skladu s odstupanjem. Nakon što se prikupi broj putnika, podaci se pohranjuju na server gdje će dalje biti dostupni za kasniju upotrebu (npr. određivanje trendova ili uzorke ponašanja na pojedinim linijama). Prikaz funkcioniranja sustava automatskog brojanja putnika prikazan je na slici 5.



Slika 5: Pojednostavljeni prikaz funkcioniranja sustava automatskog brojanja putnika, [25]

Kada se priča o implementaciji sustava automatskog brojanja putnika, može se reći da ne postoji univerzalno rješenje koje je primjenjivo u svim sustavima JGP-a. Naime, kako bi se omogućilo brojanje putnika u vozilima JGP-a, potrebno je odabrati odgovarajuću tehnologiju kao i izvedbu iste koja će biti u skladu s mogućnostima infrastrukture JGP-a pritom uzimajući u obzir njihova ograničenja. Osim toga, nije neuobičajeno da prilikom implementacije APC sustava u vozila JGP-a se koriste hibridni sustavi, tj. sustavi koji koriste više različitih tehnoloških rješenja. Razlog tome jest taj što implementacija jedne vrste tehnologije ne mora nužno davati visoku razinu pouzdanosti; stoga se implementira više tehnologija kako bi se prikupili rezultati iz više izvora sa svrhom određivanja odstupanja. [25]

Prema tome, sustave automatskog brojanja putnika je moguće klasificirati na:

- Sustave automatskog brojanja putnika koji su integrirani u sustavu validacije - Sustav APC-a koji je integriran u sustav validacije koristi sustav naplate i verificiranja karata ili neke druge vrste identifikatora kako bi se odredio broj putnika koji je pristupio infrastrukturi ili vozilima JGP-a. Ovakva vrsta sustava ima direktan kontakt s putnicima budući da isti moraju pristupiti točkama koncentracije, tj. gdje se vrši naplata i/ili verificiranje. Ovakvi sustavi mogu biti izvedeni na različite načine. Unatoč tome, ovakvi sustavi imaju nekoliko zajedničkih karakteristika; točnije, svaki od sustava nije izveden koristeći samo jednu



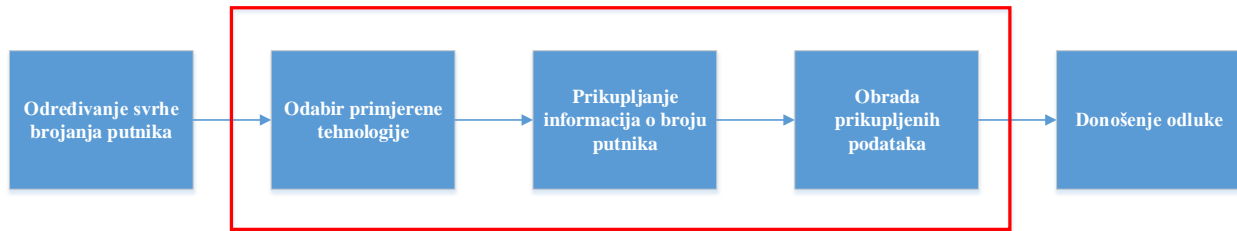
tehnologiju. Naime, kako bi se moglo izvršiti registracija, validacija i brojanje putnika, potrebno je imati sustav koji je u mogućnosti komunicirati s različim hardverskim komponentama. Iz tog razloga, ovakve izvedbe koriste kombinaciju tehnologija kao što su: RFID, arduino, GPS, mobilna mreža, itd. [25].

- Neovisne sustave automatskog brojanja putnika - Nije neuobičajeno da integrirani APC sustavi nisu pouzdani pokazatelji stvarnog broja putnika. Razlog se prvenstveno očituje u ljudskom faktoru. Točnije, problemi kao što su višestruko korištenje istih karata za više putnika, dijeljenje karte prilikom ulaska/izlaska putnika iz vozila, korištenje aplikacija ili SMS poruka za kupnju karata samo u slučaju kontrole karata i slično. Osim toga, integrirani APC sustavi često nisu izvedivi ili isplativi zbog ograničenosti infrastrukture JGP-a ili financijskih sredstava. Zbog ovakvih poteškoća se poseže za nekim drugim neposrednim rješenjima, tj. neovisnim APC sustavima. Glavne karakteristike neovisnih APC sustava jest oni nisu vezani uz validaciju te nemaju direktan kontakt s putnicima. Na taj način se dobiva koristan i nenametljiv pristup brojanju putnika koji ulaze u vozilo ili pristupaju infrastrukturi davatelja usluge JGP-a. Prema tome, neovisni sustavi automatskog brojanja putnika se dalje mogu klasificirati na:
  - Optički senzori
  - Senzori pritiska
  - Računalni vid i
  - Sustavi temeljeni na Wi-Fi tehnologiji [25].

#### 4.2. Proces brojanja putnika i postavljanje granica istraživanja u funkciji diplomskog rada

Određivanje svrhe brojanja putnika je prvi korak u procesu brojanja putnika, budući da se na temelju iste određuje opseg prikupljanja informacija o broju putnika, tj. trajanje prikupljanja, broj linija na kojima se prikuplja, itd. Na temelju svrhe se dalje određuje odabir primjerene tehnologije, izvedba iste sa svrhom prikupljanja informacija te obrada prikupljenih podataka nakon čega se donose odluke na mikro ili makro razini u ovisnosti s prethodno definiranom svrhom brojanja. Budući da se na temelju prikupljenih i obrađenih podataka donose odluke koje se tiču uspješnosti poslovanja organizacije, bitno je da rezultati brojanja budu pouzdani. Kao što je prikazano na slici 6, za ovaj rad bitni su samo određeni dijelovi procesa brojanja putnika, točnije:

- Odabir primjerene tehnologije
- Prikupljanje informacija o broju putnika i
- Obrada prikupljenih podataka.

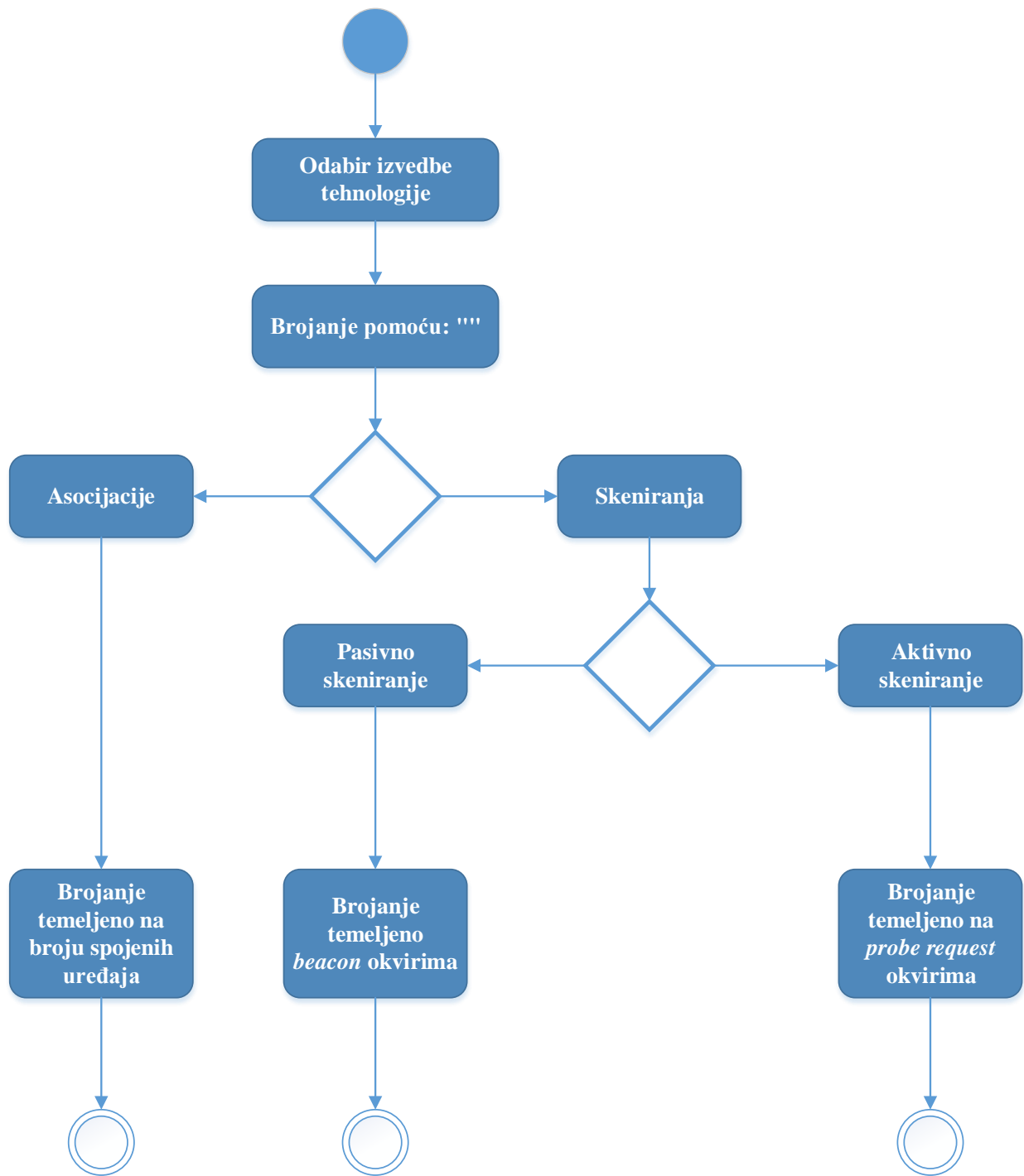


Slika 6: Područje istraživanja u funkciji diplomskog rada

Kada se priča o odabiru primjerene tehnologije, onda se podrazumijeva usklađivanje mogućnosti davatelja usluge JGP-a i odabir odgovarajuće tehnologije. Razlog tome jest taj što je bitno utvrditi omjer troškova i koristi. Pod time se podrazumijeva implementacija sustava APC-a koji će zahtijevati minimalne troškove pritom održavajući zadovoljavajuću razinu kvalitete, tj. pouzdanosti sustava. Npr. nije isplativo implementirati sustav APC-a temeljen na fizičkim barijerama (*Gate-based* tehnologija) ukoliko infrastruktura ne podržava takvu izvedbu, tj. ukoliko je potrebno proširenje površine zaustavne stanice kako bi se postavile barijere. Kako bi se izbjegle takve situacije, davatelji usluga JGP-a moraju napraviti pregled trenutnih mogućnosti te prilagoditi odabir tehnologije da bude racionalan bez stvaranja potrebe za nepotrebnim ulaganjem resursa. Osim toga, odabir „krive“ tehnologije može dovesti do nekompatibilnog ili neisplativog sustava APC-a čime se postavlja upitnost isplativosti implementacije istoga. Za istraživanje u funkciji ovog diplomskog rada, odabrana je Wi-Fi tehnologija kao temelj sustava APC-a iz više razloga. Naime, glavni razlog zašto se razvijaju rješenja APC-a temeljena na Wi-Fi tehnologiji jest zbog sve veće upotrebe mobilnih, tj. klijentskih uređaja. Sve je veća tendencija osoba, tj. putnika da njihovi uređaji u svakom trenu imaju pristup Internetu što rezultira ostavljanjem Wi-Fi antene na klijentskom uređaju uključenom. Upravo želja za umrežavanjem kao i „zaboravljivost“ vlasnika klijentskih uređaja predstavlja temelj za prikupljanje informacija o broju putnika koji se temelji na Wi-Fi tehnologiji.

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, postoji nekoliko izvedbi tehnologija za brojanje osoba, a taj se pregled istih može vidjeti na slici 7. Unatoč više opcija koje su dostupne, najpraktičnija je brojanje osoba tj. putnika na temelju aktivnog skeniranja. Razlog tome jest taj što brojanje *probe request* okvira omogućuje fleksibilnost u kontekstu definiranja jesu li klijentski uređaji unutar ili van vozila. Primjerice., automatsko brojanje osoba temeljeno na asocijaciji - izvedba je praktična u slučajevima gdje je protok ljudi „statičan“, tj. gdje se ljudi zadržavaju poput restorana, kafića, međugradska putovanja, itd., gdje je predviđeno da će isti aktivno tražiti pristup AP-u. Međutim, u slučajevima gdje je protok ljudi „dinamičan“, tj. gdje su ljudi u prolazu ili se privremeno zadržavaju kao što je situacija s vozilima javnog gradskog prijevoza, izvedba nije praktična. Kada je riječ o pasivnom skeniranju, onda je slučaj da je potrebno više vremena za odašiljanje *beacon*-a nego u slučaju slanja *probe request*-a (reprezentativnih deset milisekundi). Iz tog razloga, može se dogoditi da klijentski uređaj ne čeka dovoljno dugo na kanalu na kojem se šalje *beacon* te ga propusti, tj. ne pošalje odgovor pristupnoj točki što uvelike može utjecati na

pouzdanost rezultata. Prema navedenome, može se zaključiti da se najveća korist prilikom brojanja putnika u vozilima JGP-a dobiva implementacijom sustava APC-a temeljenog na aktivnom skeniranju, tj. sustav APC-a s AP-om i sustav AP-a s Wi-Fi senzorima. Sustavi APC-a koji koriste *probe request* (aktivno skeniranje) okvire su trenutno najbolja izvedba Wi-Fi tehnologije s obzirom da je slanje okvira brže od slanja *beacon*-a te istovremeno imaju dovoljno informacija u okviru da se odredi broj, a i sa samim time odrede kompenzacijske metode za problem randomizacije MAC adrese.



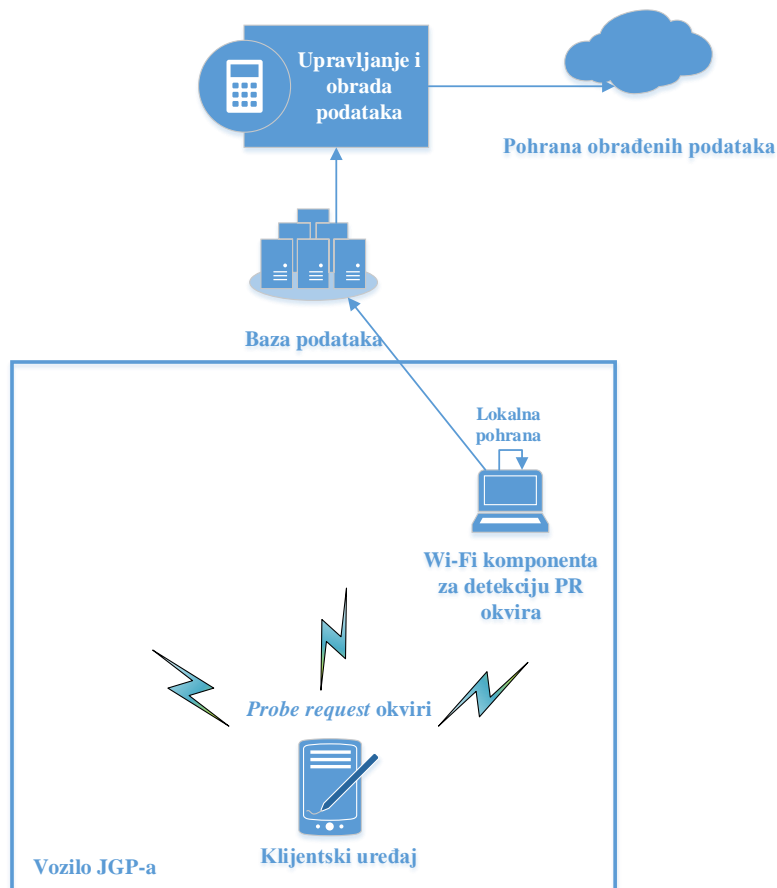
Slika 7: Pregled mogućih rješenja temeljenih na Wi-Fi tehnologiji

Nakon prikupljanja podataka o broju putnika u vozilima JGP-a, isti se moraju obraditi i omogućiti prikaz u prikladnom formatu kako bi se mogla donijeti odluka. Međutim, bitno je napomenuti da nijedan sustav APC-a ne omogućuje pouzdanost od 100 %; naime, kako je prethodno navedeno, glavni nedostaci APC-a jesu razlika u broju ulazaka i izlazaka u/iz vozila.

Međutim, APC-i temeljeni na Wi-Fi tehnologiji su karakteristični, budući da se njihov koncept temelji na detekciji uređaja u vozilu. Iz tog razloga, postoji veći broj parametara koji mogu utjecati na pouzdanost rezultata koji su karakteristični za Wi-Fi tehnologiju u JGP-u zbog dinamičnosti i nepredvidivosti prometa.

Iz tog razloga, mora se izvršiti precizna kalibracija što podrazumijeva uzimanje u obzir odstupanje od stvarnog broja putnika kako bi se za isto moglo kompenzirati. Pod kompenzacijom se podrazumijeva načini verificiranja dobivenih rezultata o broju putnika. Npr. obrađene rezultate o broju putnika, tj. klijentskih uređaja u vozilu se mogu usporediti s rezultatima dobivenih od ručnog brojanja putnika ili u slučaju hibridnih sustava APC-a, uspoređivanje s rezultatima drugih tehnologija. Osim toga, mogu se koristiti određene metode ili statistički modeli koji se implementiraju u softver za obradu prikupljenih podataka; primjerice brojanje koliko puta se MAC adresa ponavlja ili definiranje praga snage signala – ukoliko je snaga signala ispod definiranog praga, onda je osoba, tj. klijentski uređaj van vozila.

Kao što je prethodno spomenuto, brojanje temeljeno na asocijaciji i pasivnom skeniranju nisu u mogućnosti zadovoljiti dinamične zahtjeve prometa postavljenih pred iste. Stoga, zaključak je da se u vozilima JGP-a koristi brojanje putnika temeljeno na aktivnom skeniranju. Arhitektura sustava APC-a temeljenog na Wi-Fi tehnologiji se sastoji od više komponenata, međutim koncept brojanja je isti – *probe request*. Načelni prikaz (arhitektura) APC-a temeljenog na Wi-Fi tehnologiji se može vidjeti na slici 8.



Slika 8: Načelni prikaz APC-a temeljenog na aktivnom skeniranju

Klijentski uređaji odašilju *probe request* okvire sa svrhom pronalaska bežičnih mreža s kojima se mogu asociirati. Komponenta sustava, u ovisnosti o izvedbi<sup>1</sup>, obaljavju detekciju okvira nakon čega slijedi pohrana. Pohrana može biti lokalna (memorija komponente) ili prosljeđivanje na pohranu u bazu podataka. Nakon što se okviri pohrane, isti se moraju filtrirati<sup>2</sup> u sustav upravljanja i obrade podataka. Nakon obrade, podaci o broju putnika se pohranjuju u memoriju kojoj se pristupa kada je potrebno pristupiti podacima sa svrhom donošenja odluke.

<sup>1</sup> Wi-Fi senzor, Raspberry Pi, terminal u *monitor* modu i pristupna točka.

<sup>2</sup> Filtriranje probe request okvira podrazumijeva izuzimanje, tj. uklanjanje istih iz ukupnog broja detektiranih okvira. Pod time se podrazumijevaju okviri koji su identificirani kao duplikati ili su identificirani da su van vozila. Nadalje, vrši se derandomizacija MAC adresa kako bi se dobili pouzdani rezultati.

## 5. Prednosti i nedostaci sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji

Glavna značajka društva 21. stoljeća je potreba za brzom informacijom kao i brzim pristupom informacijama. Iz tog razloga, javlja se potreba za stalnim „umrežavanjem“ što podrazumijeva stalan pristup mobilnoj i Wi-Fi mreži. Upravo ta „potreba“ se može eksploatirati u obliku sustava APC-a temeljenog na Wi-Fi tehnologiji. Već je spomenuto da sustavi APC-a koji se temelje na Wi-Fi tehnologiji još nemaju sveopću primjenu u vozilima JGP-a. Razlog tome jest taj što su se mogućnosti koje takav sustav nudi pojavile tek sa širokom upotrebom klijentskih uređaja koji podržavaju 802.11 standarde. Unatoč tome, potencijal je prepoznat. Iz tog razloga, u tablici 4 je napravljen pregled već postojećih istraživanja, tj. ispitivanja koja su provedena u gradovima diljem svijeta. Formatom tablice je omogućen pregled lokacije ispitivanja, vrste skeniranja te korištena oprema; zatim, dizajn sustava, u kojem prijevoznom sredstvu se ispitivanje provelo te dobivena pouzdanost sustava.

Tablica 4: Pregled postojećih rješenja brojanja putnika temeljenih na Wi-Fi tehnologiji

Izvor	Lokacija	Vrsta skeniranja	Izvedba opreme	Dizajn	Prijevozno sredstvo	Pouzdanost
[26]	Obuse, Japan	Aktivna	Kombinacija tehnologije – Wi-Fi senzor i GPS lokator. Wi-Fi senzor izveden preko <i>Raspberry Pi</i>	GPS modul određuje vrijeme i koordinate dok Wi-Fi senzor detektira vrijeme, vrstu i MAC adresu uređaja. Koristeći proces filtriranja opisan u radu, autori su odredili koji uređaji su se nalazili van vozila.	Bus	-
[27]	Prag, Češka	Aktivna	Klijentski uređaji spojeni na AP, ali za brojanje je korišten Wi-Fi <i>tracker</i> softver	Detekcija uređaja je provedena u definiranim vremenskim intervalima (15, 25, 49, 60 i 180 sekundi). Za određivanje broja uređaja, korištene su informacije o operativnom sustavu, proizvođaču i modelu uređaja.	-	25 % za 15 sek 30 % za 25 sek 30 % za 40 sek 37 % za 60 sec 73 % za 180 sek
[28]	Melbourne, Australija	Aktivna	Wi-Fi senzor	Autori su odredili da li je uređaj u vozilu ili ne na temelju prostornog i vremenskog „preklapanja“. Autori su koristili algoritam temeljen na brojanju MAC adresa klijentskih uređaja s nizom uvjeta kojima je definirano kada je uređaj van vozila.	Bus	Pouzdanost preko tjedna – 16 % Pouzdanost preko vikenda – 75 %

[29]	Cagliari, Italija	Aktivna	Wi-Fi <i>sniffer</i> softver izveden na <i>Raspberry Pi</i> sa spojenom Wi-Fi antetnom	Opisan je sustav kojim se detektiraju probe request okviri. Zatim se provodi proces „derandomizacije“ <sup>3</sup> nakon čega se podaci obrađuju te se dobiva broja putnika.	Bus	~94 %
[20]	Melbourne, Australia	Aktivno	Wi-Fi senzor	Sustav temeljen na postavljanju četiri Wi-Fi senzora u različitoj konfiguraciji koji pohranjuju informacije o broju <i>probe request</i> -ova. Isti se temelji na algoritmu za procjenu broja putnika kojim su definirani uvjeti kada se smatra da je klijentski uređaj u vozilu.	Bus	Konfiguracija s četiri senzora $Er^4 = 1,15$ ; tj. 15 % odstupanja. Konfiguracija s tri senzora $Er = 1,67$ , tj. 67 % odstupanja.
[30]	Trondheim, Norveška	Aktivno	Terminal, tj. osobno računalo u <i>monitor</i> modu te korištenje Scapy programski alat za detekciju.	Autori su razvili model kojim se procjenjuje broj putnika te prikaz eksperimentalnih rezultata prikupljenih na temelju Wi-Fi potpisa. Procjena broja putnika u vozilu se donijela na temelju broja zaustavnih stanica na kojima je klijentski uređaj bio detektiran.	Bus	-
[18]	Rio de Janeiro, Brazil	Aktivno	Autori su razvili uređaj <i>Sherlock</i> koji detektira probe request okvire	Autori su dizajnirali <i>Sherlock</i> uređaj kao i metodu za procjenu broja osoba na određenoj lokaciji. Unatoč uspješnim rezultatima, autori planiraju unaprijediti postojeće rješenje koristeći tehnike strojnog učenja.	-	<i>Mean Relative Error</i> <sup>5</sup> – 0.087 ili $(1-0.087) \times 100 = 91.3$ % pouzdanost

<sup>3</sup> Pod derandomizacijom se podrazumijeva da su autori rada [29] razvili način kako smanjiti utjecaj randomizacije MAC adrese na pouzdanost brojanja putnika.

<sup>4</sup>  $Er$  podrazumijeva procjena, tj. odstupanje od stvarnog broja putnika ( $Er > 1$  – dobiven broj putnika je veći od stvarnog,  $Er < 1$  – dobiven broj putnika je manji od stvarnog).

<sup>5</sup> Relativna nesigurnost ili pogreška aproksimacije. Koristi se kada je radi aproksimacije umjesto korištenja stvarnih podataka (npr. zaokruživanje decimala) ili netočnih mjerenja izazvana nepreciznošću instrumenata (u ovom konkretnom slučaju, uređaj *Sherlock*).



[23]	Osaka, Japan	Pasivno	Terminali koji detektiraju <i>beacone</i> su <i>Raspberry Pi</i> računala sa spojenim Wi-Fi modulom	Autori su u kontroliranom eksperimentu procijenili broj osoba koristeći vrijednost snage signala koja je detektirana na terminalima koristeći statističke modele: <i>Support vector regression</i> <sup>6</sup> i <i>Linear regression</i> <sup>7</sup>	-	-
[31]	Madrid, Španjolska	Aktivno	Wi-Fi uređaj postavljen u <i>monitor mode</i>	Autori su projektirali informacijski sustav koji omogućuje pregled aktualne lokacije vozila kao i „zauzetosti“ vozila na temelju broja putnika koji koriste vozilo.	Bus	Stabilnih <sup>8</sup> ~20 %

Izvor: [18] [20] [23] [26] [27] [28] [29] [30] [31]

Kao što se može vidjeti iz tablice 4, uočljivo je da se preferira korištenje, tj. brojanje osoba i/ili putnika temeljeno na aktivnom skeniranju koja podrazumijeva detekciju *probe request* okvira. Nijedan analizirani rad [18] [20] [23] [26] [27] [28] [29] [30] [31] se nije temeljio na brojanju putnika preko asocijacije, što je logično s obzirom da je u kontekstu brojanja putnika, spajanje na AP dug i neisplativ proces. Nadalje, može se uočiti sličnosti u izvedbi same tehnologije. Velik broj autora je koristilo *Raspberry Pi* računala kao podlogu za brojanje putnika kao i Wi-Fi senzore. Također se može uočiti da velik broj autora provode svoja ispitivanja u autobusima kao i relativno različita razina pouzdanosti sustava. Već je prethodno navedeno da je brojanje u vozilima JGP-a zahtjevno zbog dinamičnosti istoga. Iz tog razloga, postoje razlike u izvedbi tehnologiji kao i kompenzacijske tehnike kako bi se dobila prihvatljiva razina pouzdanosti.

Nadalje, na temelju prethodnih radova, identificirane su prednosti kao i nedostaci ovakve izvedbe tehnologije. Iz tog razloga, navesti će se prednosti i nedostaci sustava APC-a temeljenog na Wi-Fi tehnologiji. Prednosti sustava APC-a temeljenog na Wi-Fi tehnologiji su:

- Prihvatljive cijene pojedinih komponenata potrebnih za implementaciju
- Široka upotreba pametnih uređaja
- „Zaboravljivost“ vlasnika klijentskih uređaja – zbog potrebe za umrežavanjem, vlasnici klijentskih uređaja ostavljaju uključenu Wi-Fi antenu na uređaju
- Zadovoljstvo putnika
  - Nema direktnog kontakta s putnicima
  - Putnici se ne osjećaju nadzirano
- *Probe request* okviri sadrže velik broj informacija (izuzev MAC adrese) na temelju kojih se može dobiti broj uređaja

<sup>6</sup> Nelinearna regresijska tehnika koja se temelji na *support vector machine* što dalje podrazumijeva strojno učenje.

<sup>7</sup> Statistički model kojim se pokušava predviđjeti odnos između dvije varijable ili faktora.

<sup>8</sup> Iako je pouzdanost sustava niska, ista je stabilna što podrazumijeva da se brojanje uređaja može kalibrirati, tj. iskoristiti za dobivanje stvarnog broja putnika.

- Velik broj postojećih idejnih rješenja
- Postavljanje temelje za daljnju implementaciju hibridnih APC sustava i koncepta pametnih gradova. [18][20] [26] [27] [29] [30]

Unatoč prednostima, prepoznati su nedostaci koji nastaju kao posljedica ograničenja tehnologije i utjecaja okoline. Nedostaci su:

- Različit broj putnika i klijentskih uređaja
  - Putnik može imati više uređaja
  - Putnik može imati uređaj koji ne podržava 802.11 standard
  - Putnik nema uređaj
  - Detekcija uređaja van vozila
- Randomizacija MAC adrese
- Zbog različitog broja putnika i klijentskih uređaja, potrebna je kalibracija, tj. utvrđivanje odstupanja od stvarnog broja ljudi na temelju provjere (korištenje druge metode brojanja putnika, primjerice ručno brojanje putnika)
- Varijabilno slanje *probe requestova*
  - Ovisi o modelu uređaja kao i o statusu uređaja (zaključan, u korištenju i slično)
- Dinamičnost javnog gradskog prometa
  - Varijabilnost udaljenosti između zaustavnih stanica vozila JGP-a
  - Varijabilno vrijeme zadržavanja vozila JGP-a na zaustavnoj stanici – vozilo se može zadržati dulje od predviđenog ili se ne mora uopće zaustaviti [18] [20] [27] [29] [30].

Unatoč brojnim identificiranim nedostacima, većina autora radova iz tablice 5 najavljuju daljnja istraživanja budući da su rezultati obećavajući. Prema tome, znanstvena zajednica je prepoznala potencijal koji se može dobiti iz ovakve vrste APC-a.

## 6. Studija slučaja: Ispitivanje mogućnosti brojanja putnika/osoba putem Wi-Fi tehnologije

U ovom poglavlju napravljena je studija slučaja koja je podijeljena u dva dijela. U prvom dijelu dan je pregled, tj. ispitivanje parametara bežične mreže u vozilima, točnije tramvajima ZET-a (Zagrebački električni tramvaj), koji su bitni za implementaciju sustava automatskog brojanja putnika temeljenog na Wi-Fi tehnologiji, a u drugom dijelu prikazani su rezultati provedenog anketnog istraživanja na ciljanoj skupini koju predstavljaju stručnjaci (eksperti) iz područja planiranja i organizacije JGP-a. Anketno istraživanje je provedeno s ciljem utvrđivanja postojećeg stanja i mogućnosti uvođenja sustava automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza (JGP). Nadalje, bitno je napomenuti da je ispitivanje parametara mreže u tramvajima ZET-a provedeno u rujnu 2019. godine, dok je anketno istraživanje provedeno u kolovozu i rujnu 2020. godine.

### 6.1. Ispitivanje parametara Wi-Fi mreže u tramvajima ZET-a bitnih za sustav APC-a

Rezultati ispitivanja temelje se na radu [32] u kojem su se ispitivali parametri kvalitete Wi-Fi mreže u tramvajima ZET-a. Glavna svrha implementacije Wi-Fi tehnologije u vozila JGP-a jest pružanje dodatnih usluga korisnicima koji koriste uslugu prijevoza. Na taj način, davatelji usluge prijevoza nastoje povećati kvalitetu svoje usluge kao i povećati zadovoljstvo korisnika. Osim toga, implementacija Wi-Fi tehnologije u vozila JGP-a predstavlja veliki potencijal. Pod time se podrazumijeva da se Wi-Fi tehnologija može iskoristiti za brojanje mobilnih uređaja koji se nalaze unutar vozila JGP-a.

U sklopu pilot projekta, ZET je prvotno implementirao Wi-Fi mrežu u tri tramvaja i tri autobusa. Nedugo zatim, izvršena je naknadna implementacija u još 60 niskopodnih tramvaja i 58 autobusa te je predviđeno daljnje proširivanje ovakve usluge u još 142 tramvaja i 213 autobusa [33]. Iz tog razloga, prilikom izrade rada [32], stupljeno je u kontakt s tvrtkom ZET te je zatražena službena dokumentacija o karakteristikama i zahtjevima mreže kao i mrežne infrastrukture [34].

#### 6.1.1. Metodologija ispitivanja i odabir profesionalnog alata

Mjerenja su provedena korištenjem programskog alata *EkaHau Site Survey*. Navedeni alat omogućuje cijeli niz mogućnosti poput planiranja, implementacije i analize Wi-Fi mreža. Alat je previđen za Windows i MAC operativne sustave te podržava niz 802.11<sup>9</sup> standarda. Nadalje, alat je u mogućnosti napraviti prediktivnu analizu tehničkih karakteristika mreže kojom se olakšava

---

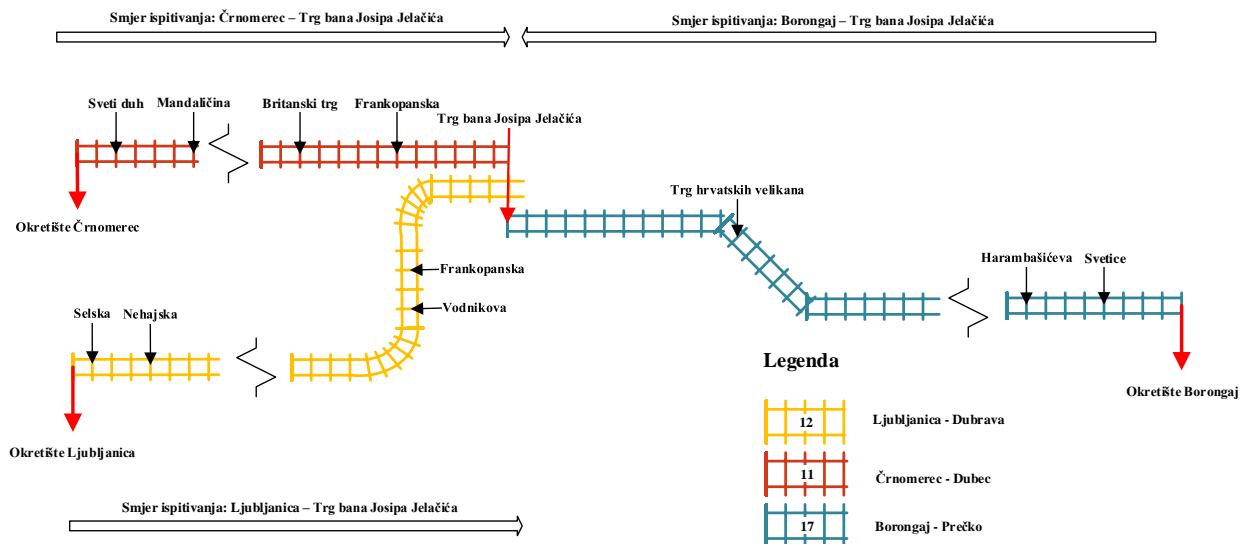
<sup>9</sup> 802.11a/b/g/n/ac/ax

planiranje kao i sama implementacija te kao takav omogućuje niz mogućnosti kod provođenja ispitivanja poput:

- Automatizirano planiranje i konfiguriranje mreže
- Ispitivanje karakteristika mreže kao i pokrivenost mreže korištenjem aktivnih i pasivnih metoda ispitivanja
- Otklanjanje poteškoća kao što su istokanalne interferencije, točke slabije pokrivenosti i slično te
- Automatizirano generiranje izvještaja u različitim formatima. [32] [35]

Za korištenje, potrebna je Wi-Fi antena (model SA-1) koja je zapravo dio programskog alata te je ista dual band što znači da detektira područja od 2.4 GHz i 5 GHz.

Mjerenja su provedena u tramvajskim vozilima na tri linije (11, 12 i 17), koje su odabrane zbog svojih početnih i krajnjih točaka kretanja te radi količine prometa na navedenim linijama. Prema tome, linija jedanaest prometuje od okretišta na Črnomercu do Dubca, linija dvanaest od okretišta na Ljubljanci do Dubrave, a linija sedamnaest od okretišta na Borongaju do Prečkog. Početne postaje mjerenja su Črnomerec za liniju jedanaest, Ljubljana za liniju dvanaest i Borongaj za liniju sedamnaest. Kao što se može vidjeti na slici 9, dolazi do prekplapanja tramvajskih linija (npr. linija 12 i 17 se preklapaju od Tehničkog muzeja do Draškovićeve ulice) od kojih je najbitnije preklapanje na Trgu bana Josipa Jelačića (što je ujedno i završna točka mjerenja) gdje sve tri linije konvergiraju te dolazi do najvećeg protoka putnika. Mjerenja su provedena u vožnji između određenih tramvajskih postaja za koje se odredilo da su na sredini puta između okretišta i Trga bana Josipa Jelačića.



Slika 9: Prikaz tramvajskih linija na kojima su provedena ispitivanja

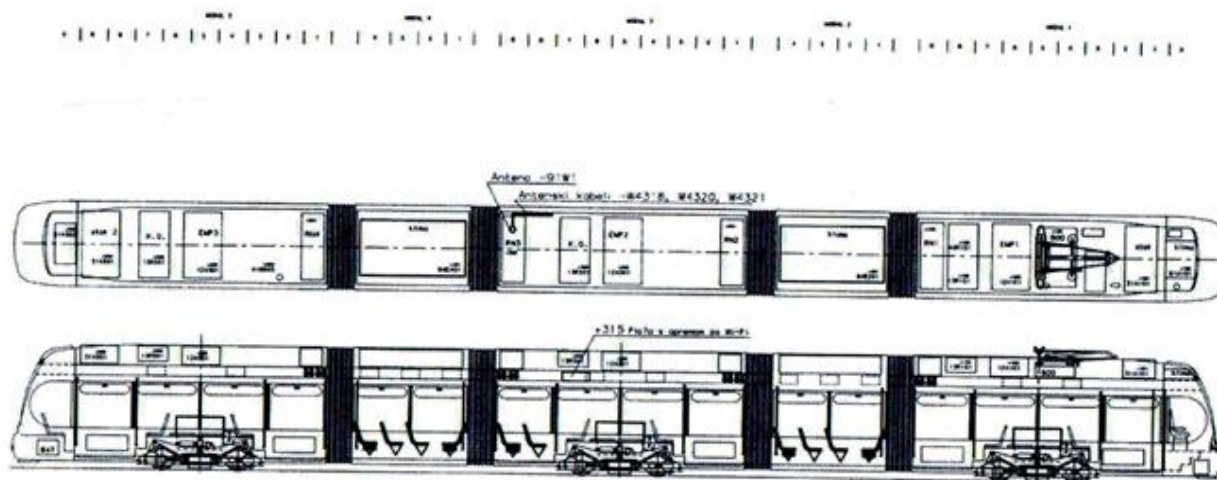
Nadalje, slikom 10 je prikazano kretanje po cijeloj dužini tramvaja. Točnije, od vozačevog kokpita u prednjem dijelu, pa sve do suprotnog kraja. Mjerenje je ponovljeno dva puta, jednom u

svakom smjeru kretanja u tramvaju. Iz tog razloga se na slici 10 može vidjeti više linija. Prema tome, zelena linija označava prvo mjerenje od prednjeg dijela prema stražnjem, dok žuta označava mjerenje od stražnjeg dijela prema prednjem. Na svakoj liniji mjerenje je ponovljeno tri puta, jednom na početnoj postaji, jednom u vožnji i jednom kod posljednje zaustavne postaje kako bi uzorak bio što reprezentativniji.



Slika 10: Ruta kretanja kroz tramvaj tijekom mjerenja

Prije nego što se krene s parametrima kvalitete, mora se utvrditi gdje je točno pristupna točka implementirana u tramvajima. Pristupna točka je postavljena na sredini tramvaja kao što je prikazano na shemi sa slike 11.



Slika 11: Shema niskopodnog tramvaja TMK 2200 konzorcije Crotram, [34]

Vidljivo je da se pristupna točka nalazi iznad lokacije srednjih kotača te između zglobnih dijelova tramvaja. Točnije, nalazi se iznad sjedišta za putnike na sredini tramvaja iza zaštitnog poklopca. Napajanje pristupne točke je povezano sa tramvajem te postoji sigurnosna sklopka koja služi samo za gašenje AP-a u hitnim slučajevima da se može pravovremeno intervenirati, bez da se gasi napajanje tramvaja.

### 6.1.2. Parametri kvalitete WLAN mreže koji su bitni za sustave automatskog brojanja putnika

Budući da je riječ o već postojećoj WLAN mreži u vozilima JGP-a, ne mora se vršiti planiranje iste. Kao što se može vidjeti, riječ je o infrastrukturnoj topologiji s jednim AP-om što čini jedan BSS-om na čijem području se omogućuju usluge asocijacije, integracije, distribucije, itd. te je AP u vozilima omogućuje odašiljanje signala na 2.4 GHz i 5 GHz spektru. Osim toga, budući da je riječ o već postojećoj bežičnoj mreži, to znači da postoje već definirani zahtjevi koji su dobiveni od ZET-a nakon stupanja u kontakt s istim. Prema tome, u tablici 5 se nalaze već definirani zahtjevi za WLAN mrežu.

Tablica 5: Zahtjevi bežične mreže u vozilima ZET-a

Minimalna snaga signala	-75.0 dBm
Minimalan odnos signal/šum	20.0 dB
Minimalna brzina prijenosa podataka	20 Mbit/s
Minimalni broj pristupnih točaka	1 AP
Maksimalno preklapanje signala	20 kanala
Maksimalan Round Trip Time	200 ms
Dozvoljeni gubitak paketa	2.0 %

Izvor: [32] [34]

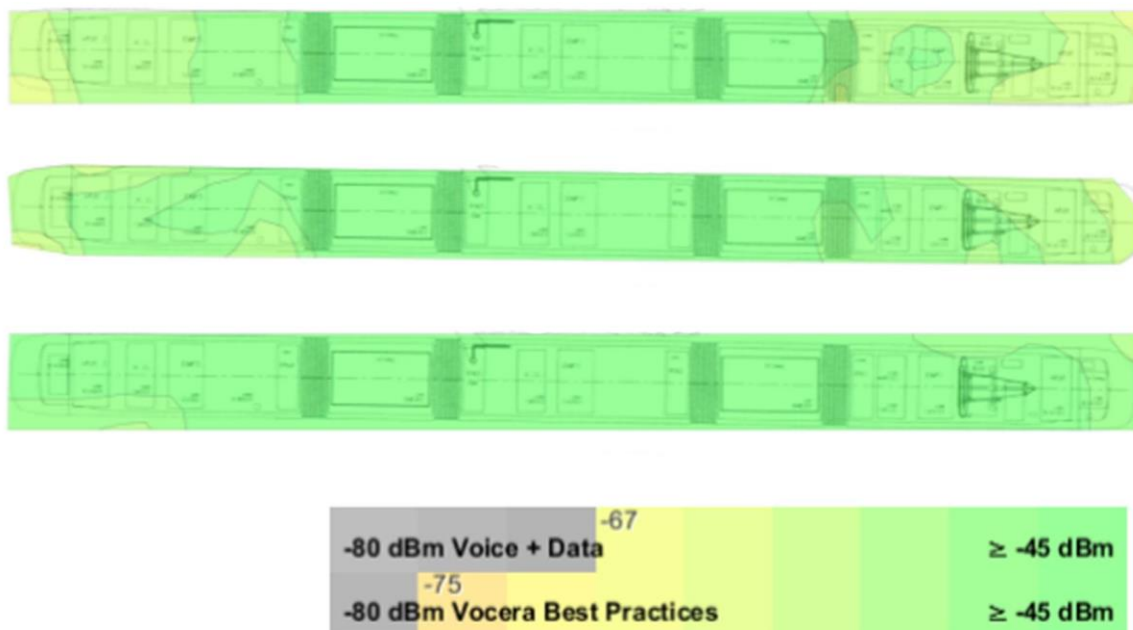
Navedeni zahtjevi za bežičnu mrežu se definirani kako bi ista mogla pružati usluge koje 802.11 omogućuje. Međutim, nisu svi parametri kvalitete bitni za brojanje putnika temeljeno na Wi-Fi tehnologiji. Pod time se podrazumijeva da je za brojanje putnika preko AP-a bitna snaga signala te pripadajući parametri koji mogu utjecati na degradaciju istog; točnije, odnos signal/šum i preklapanje kanala.

Snaga signala ili pokrivenost signalom je najbitniji zahtjev bilo koje WLAN mreže budući da niska snaga signala utječe na pouzdanost veze kao i propusnost podataka. Ista je prikazana kao omer snage po milivatu ili dBm-u gdje je signal od -60 dBm idealan je za prijenos podataka dok signal od -112 dBm označava prekid veze [32].



Slika 12: Snaga signala 2.4 GHz, [32]

Kao što se može vidjeti na slici 12, snaga signala u 2.4 GHz spektru je u velikoj mjeri iznad -45 dBm s vrlo niskom razinom slabijeg signala u krajnjim točkama tramvaja. Također, može se uočiti da je snaga signala zadovoljavajuća te u skladu s postavljenim zahtjevima. Slična, ako ne i ista situacija se može vidjeti na području od 5 GHz. Na slici 13 se također može uočiti da je snaga signala zadovoljavajuća. Međutim, za razliku od situacije s 2.4 GHz, može se uočiti slabljenje signala koja su vidljiva na krajevima tramvaja, tj. kod kokpita od vozača kao i na suprotnom kraju vozila. Unatoč tome, snaga signala i dalje u zadovoljavajućim granicama.

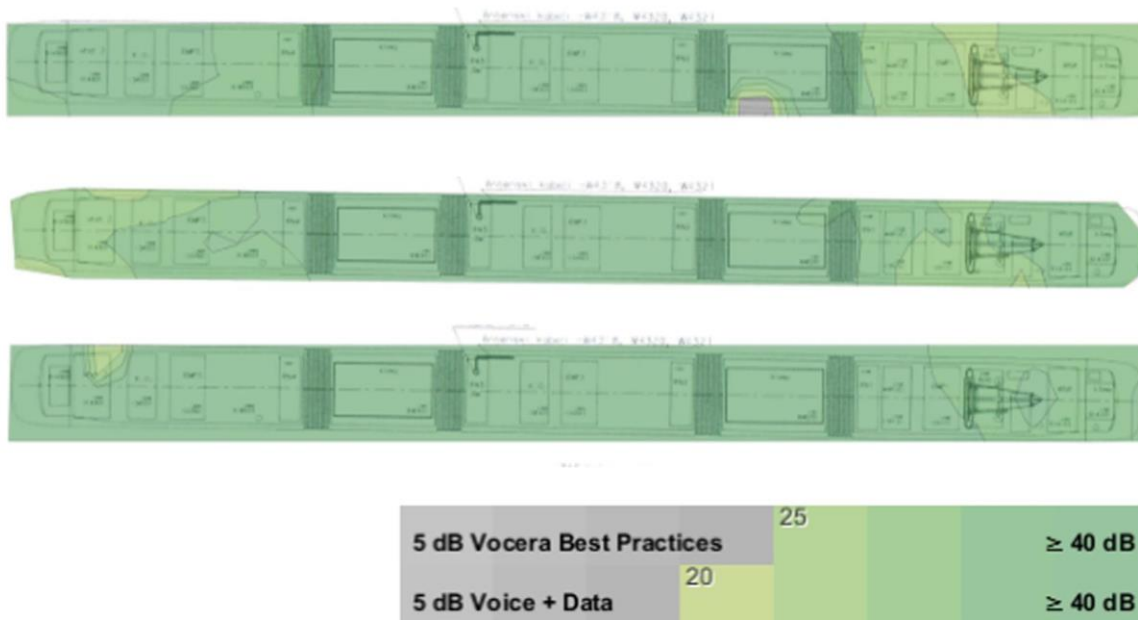


Slika 13: Snaga signala 5 GHz, [32]

Kao što se može vidjeti na slikama 12 i 13, u oba slučaja je snaga oko stabilnih -45 dBm-a. Naime, navedena vrijednost se može iskoristiti za identifikaciju uređaja koji se nalazi unutar ili van vozila. Unatoč tome, prethodno spomenuti parametri kvalitete mogu utjecati na količinu detektiranih *probe request* okvira. Stoga će se dalje prvo prikazati isti prije nego što se krene u interpretacije rezultata u kontekstu brojanja putnika.

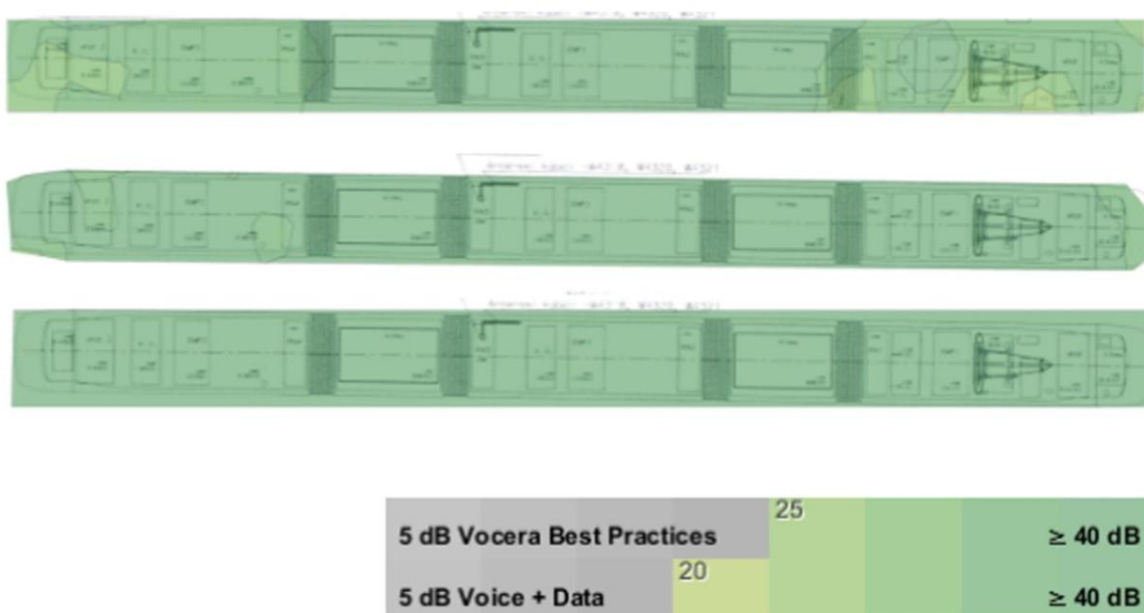
Odnosom signal/šum je prikazano koliko je snaga signala veća od snage šuma. Naime, kako bi prijenos podataka bio moguć, signal mora biti jači od šuma. Što je razlika između signala i šuma manja, prije će doći do prekida i prekida veze. Prema tome, kada je omjer od 10 - 15 dB, onda je riječ o prihvaćenom minimumu kod uspostave nepouzdanе veze. Omjer od 16 - 24 dB smatra se lošim, a 25 - 40 dB dobrim. Omjer veći od 41 dB prihvaćen je kao izvrstan. Kao što se može vidjeti na slici 14, odnos signal/šum je, na svim promatranim linijama, na granici izvrsnog [32].





Slika 14: Odnos signal/šum 2.4 GHz, [32]

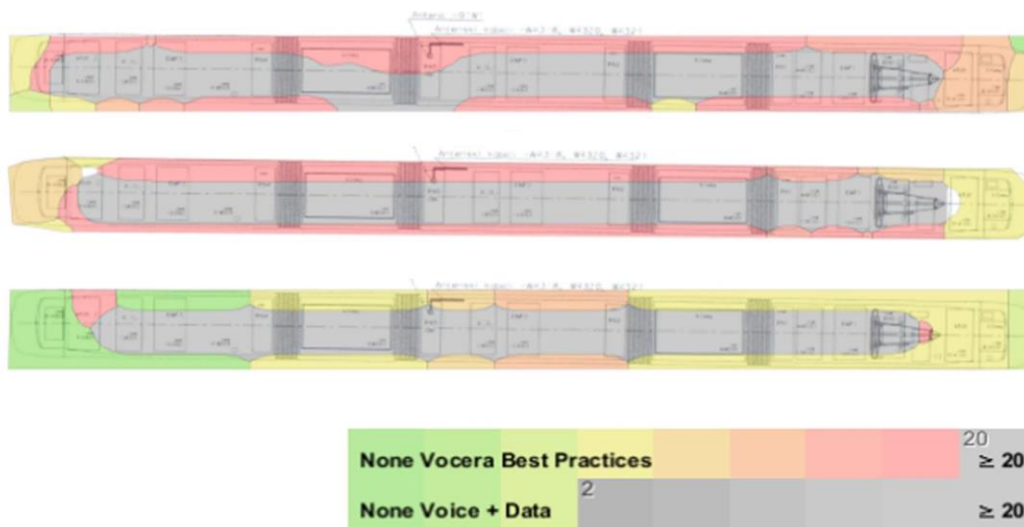
Kao što se može vidjeti na slici 15, situacija je bolja zbog manje iskorištenosti frekvencijskog spektra od 5 GHz.



Slika 15: Odnos signal/šum 5 GHz, [32]

Nadalje, bitno je i preklapanje kanala. Njime se utvrđuje koliko AP-ova se preklapa na jednom kanalu na promatranom području. Preklapanje kanala treba izbjegavati ako je moguće ili minimizirati kako bi se osigurao rad bez smetnji. Što se tiče 2.4 GHz područja, kanali koji se ne preklapaju su 1, 6 i 11 dok u području od 5 GHz je riječ o 24 kanala koji se u pravilu ne preklapaju. Najbolja upotreba kanala za Wi-Fi mrežu je ona koja nema ili ima vrlo malo broj AP-ova koji koriste isti kanal. Pod time se podrazumijeva da ako većina susjednih AP-ova, tj. Wi-Fi mreža koristi kanal 11, preporučljivo je u tom slučaju onda koristiti kanal 1 ili 6.

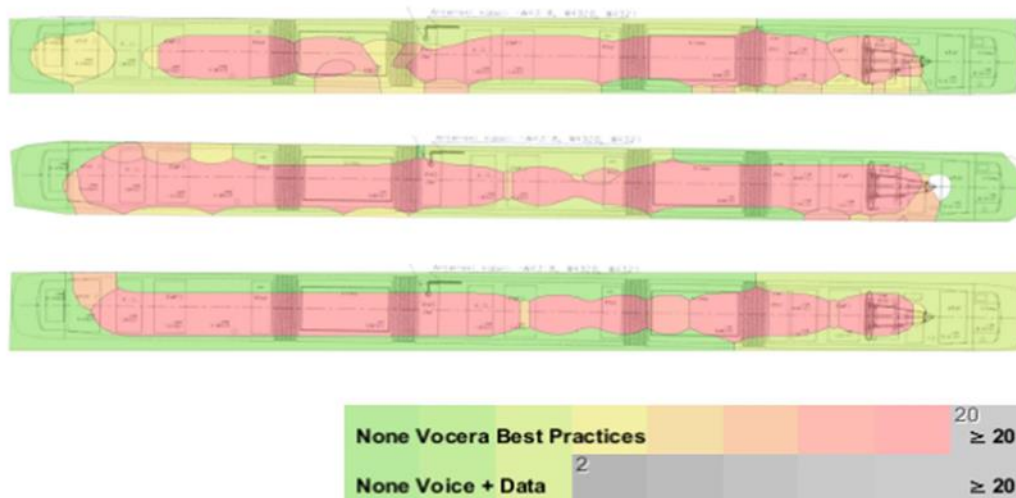
Mjerena Wi-Fi mreža, prema dokumentaciji, radi na kanalima 1, 6 i 11 što ovisi kako je pojedini AP konfiguriran u pojedinim vozilima, tj. tramvajima. Glavni problem kod 2.4 GHz u vozilima JGP-a se očituje u tome što je riječ o „mobilnom“ AP-u. Pod time se podrazumijeva da je neizbježno preklapanje kanala, točnije istokanalne interferencije kako se vozilo kreće kroz grad. Preklapanje kanala što se može vidjeti na slici 16.



Slika 16: Preklapanje signala 2.4 GHz, [32]

Sa slike 16 je vidljivo kako je broj uređaja koji uzrokuju interferenciju u velikom dijelu veći od 20. Razlog je široka upotreba nelicenciranog ISM područja; točnije 2.4 GHz spektra na način da ga danas koristi gotovo svaki prijenosni uređaj kao i brojne druge aplikacije (npr. mikrovalna pećnica). Osim toga, mora se uzeti u obzir da se najviše koriste kanali 1, 6 i 11 budući da su isti ne preklapajući što dalje izaziva istokanalnu interferenciju. Iz tog razloga je razumljivo zašto je interferencija, tj. preklapanje kanala intenzivnije.

Nadalje, na slici 17 može se uočiti slična situacija za 5 GHz, iako su rezultati nešto bolji. Razlog je manji broj uređaja koji imaju mogućnost povezivanja na 5 GHz kao i manjak tehnologija koje rade na tom spektru. Iz tog razloga, rezultati su bolji nego kod 2.4 GHz jer područje od 5GHz nije iskorišteno te zbog visoke frekvencije, manja je valna duljina čime se smanjuje mogućnost ometanja AP-ova iz okoline.



Slika 17: Preklapanje signala 5 GHz, [32]

Na temelju provedenih mjerenja, može se zaključiti kako je preklapanje signala, tj. kanala vrlo zastupljeno i može izazvati probleme prilikom pružanja usluge kao i kod brojanja putnika. Unatoč tome, preklapanje bi trebalo biti privremeno s obzirom da je AP u tramvaju mobilan, tj. kreće se s tramvajem.

### 6.1.3. Interpretacija rezultata i odabir izvedbe brojanja putnika

Što se tiče ZET-ovih mogućnosti u kontekstu brojanja putnika, dostupne su dvije opcije s obzirom da postoji već implementirana pristupna točka u vozilima. Obje opcije spadaju pod aktivno skeniranje; točnije prosljeđivanjem *probe request*-a na distribucijski sustav te pohrana istih u bazu podataka ili koristeći terminal postavljen u *monitor* mod sa svrhom nadziranja prometa. U ovom slučaju, tj. u uvjetima i mogućnostima ZET-a, preporučljivo je korištenje terminala s *monitor* modom kako bi se detektirali *probe request* okviri. U pravilu se koristi programski alat poput *Wireshark*-a, međutim isti može izazvati povredu privatnosti; stoga se izbjegava korištenje istoga u brojanju putnika, tj. klijentskih uređaja. Prema tome, zaključak je da se koristi specijalizirano „rješenje“, tj. softver ili skripta kojim se omogućuje detekcija i pohrana *probe request* okvira lokalno ili slanjem bežičnim putem u bazu podataka. Već je prethodno spomenuto da *probe request* okviri sadrže niz podataka na temelju čega se može dobiti broj putnika, tj. uređaja poput MAC adrese, OUI (engl. *Organizationally unique identifier*) identifikator, SSID, iznos snage signala od primljenog okvira te vremenska oznaka PR-a. Nakon što se okviri pohrane, isti se obrađuju na temelju sadržaja okvira. Npr. mogu se brojati MAC adrese, zatim određivanje broja uređaja na temelju snage signala, vremenske oznake, itd. Također je prethodno navedeno da varijabilna okolina JGP-a u kojima se nalaze ovakvi sustavi utječe na pouzdanost sustav; međutim, u ovisnosti o situacijama, mogu se napraviti kompenzacijske metode kako bi se dobila stabilna pouzdanost.

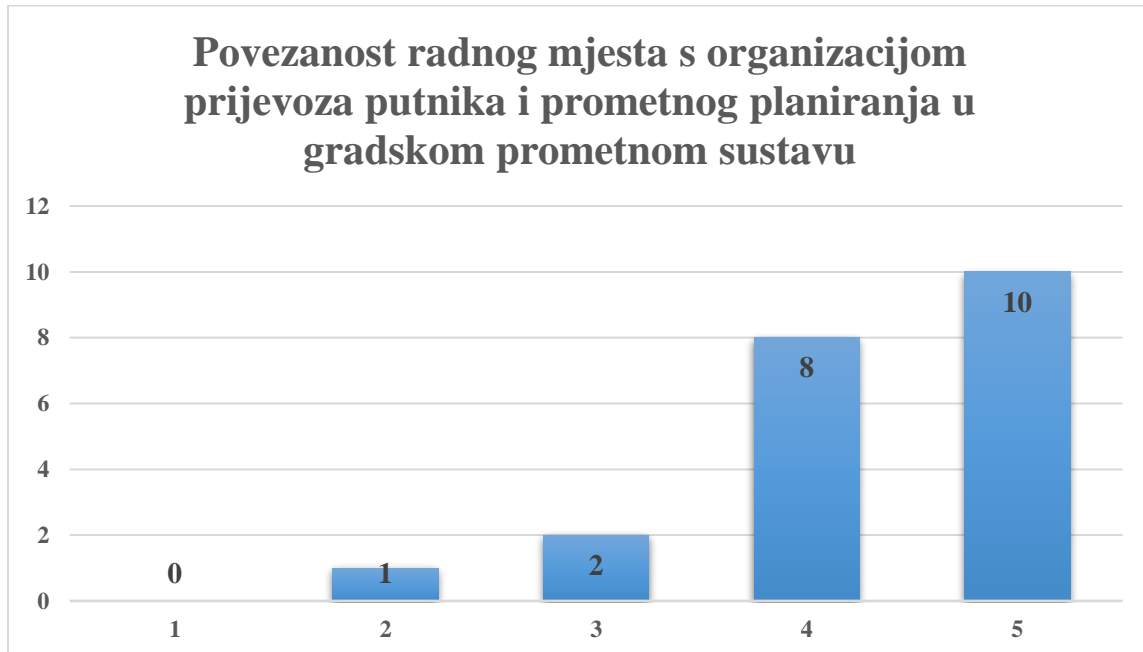
Također, bitna je konfiguracija terminala koji je u *monitor* modu, tj. „slušanje“ kanala. Pod time se podrazumijeva da se terminal može konfigurirati na način da „sluša“ samo jedan kanal ili pak više kanala. Iako je logično da se za detekciju u tramvaju terminal konfigurira da sluša samo jedan kanal budući da je AP u tramvaju na samo jednom kanalu, isto ne mora dati pouzdane rezultate. Naime, klijentski uređaji kada imaju uključenu Wi-Fi komponentu, šalju PR-ove na različitim kanalima. Nadalje, autori rada [36] su uočili da klijentski uređaji šalju *probe request* okvire na kanalu na kojem AP ima najjaču snagu signala. Pod time se podrazumijeva da ako je u tramvaju najjači signal od AP-a koji je implementiran u tramvaju i isti je kanal 1, klijentski uređaji će slati više PR-ova na kanalu 1. Međutim, ukoliko se prilikom vožnje pojavi AP koji ima jači signal i isti je na kanalu 6, klijentski uređaji će slati više PR-ova na kanalu 6. Prema tome, bolje je da se koristi metoda „preskakanja“ kanala, tj. gdje je mrežna kartica terminala konfigurirana da svaki kanal „sluša“ samo definirani period nakon čega se „preskače“ na sljedeći kanal. S obzirom da su u primjeni svega tri kanala koji su ne preklapajući, skeniranje kanala za PR-ove se može konfigurirati da se izvede samo na kanalima 1,6 i 11. Navedena situacija je ona koja se tiče 2.4 GHz-a. Kada je riječ o području od 5 GHz, također je moguće koristiti istu metodu ispitivanja. Unatoč tome, situacija je drugačije. Naime, u ovisnosti o mogućnostima terminala, moguće je da se s istom antenom od terminala „sluša“ i područje od 2.4 GHz i 5 GHz. Međutim, metoda „preskakanje“ kanala se može pokazati neučinkovito kao što se to slučaj s 2.4 GHz. Razlog tome jest taj što područje od 5 GHz ima puno više kanala te preklapanje kanala nije zastupljeno u toj mjeri kao na području od 2.4 GHz. Osim toga, metoda „preskakanja“ ne preklapajućih kanala je neučinkovita na području od 5GHz jer bi se u tom slučaju moralo slušati puno više kanala, a ne samo tri kao što je situacija s 2.4 GHz. Iz tog razloga bi bilo korisno koristiti još jedan dodatan terminal u *monitor* modu koji bi koristio metodu slušanja samo jednog kanala na području od 5 GHz; točnije na kanalu na kojem je AP u vozilu konfiguriran.

Prethodno navedeni parametri kvalitete utječu na brojanje na sljedeći način; ukoliko je odnos signal/šum van prihvatljivih granica, može se dogoditi da dođe do gubitka *probe request* okvira čime se uopće gubi mogućnost detekcije istih. Nadalje, ukoliko dođe do preklapanja kanala, istovremeno dolazi do degradacije signala te sa samim time dolazi do prethodno navedene situacije gdje AP koji je van vozila ima jači signal nego AP koji je implementiran u vozilo. Iako bi navedene situacije trebale biti privremene, teško je uočiti na kojim dijelovima tramvajskih linija će nastupiti degradacija signala. Unatoč tome, prema prikazanim rezultatima, može se uočiti stabilnost u rezultatima te prema tome se može zaključiti da ovakav način brojanja u ZET-ovim vozilima je izvediv, tj. zadovoljavaju se uvjeti za brojanje putnika temeljeno na Wi-Fi tehnologiji.

## 6.2. Anketno istraživanje o postojećem stanju i budućim planovima implementacije APC-a temeljeno na mišljenju i stavovima stručnjaka (eksperata)

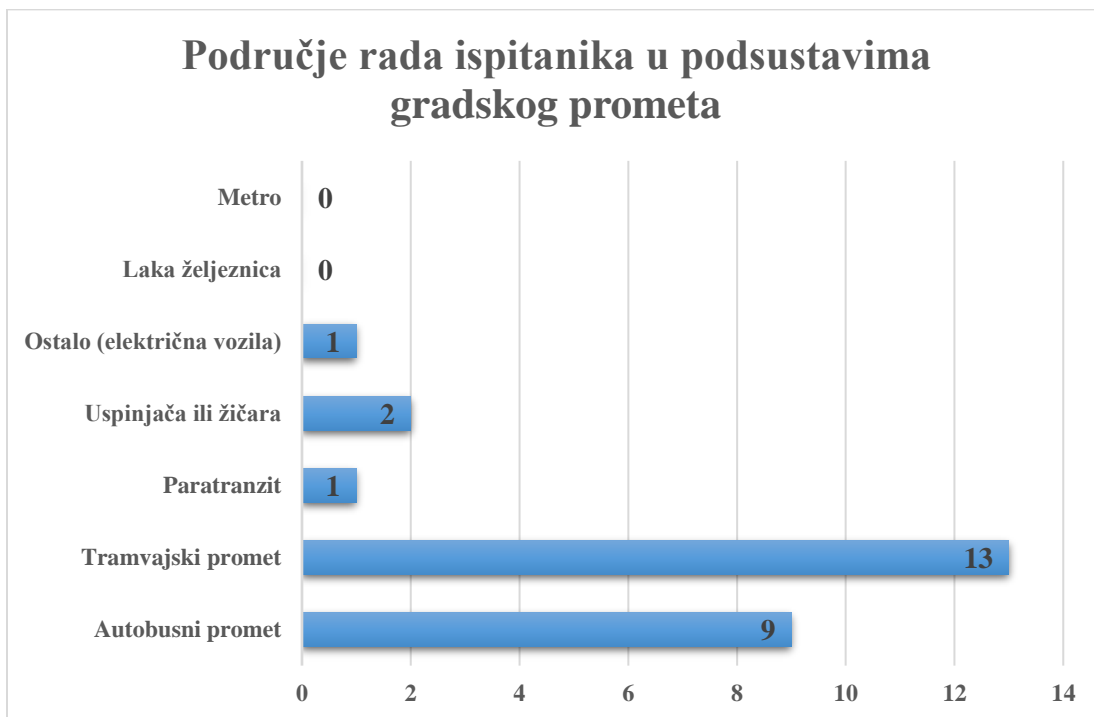
Anketno istraživanje je provedeno kako bi se utvrdilo postojeće stanje kao i mogućnost implementacije sustava automatskog brojanja putnika u vozila javnog gradskog prijevoza. Cilj ankete jest odrediti stavove i mišljenja stručnjaka koji rade u području organizacije i planiranja gradskog prometa. Anketa je napravljena koristeći *Google* obrasce te se sastoji od 15 pitanja koja su u različitim formatima što podrazumijeva ocjenjivanje na temelju samoevaluacije (ocijena od 1 do 5), pitanja s višestrukim odabirom odgovora te tekst dugog odgovora. Na anketni upitnik je odgovorio 21 stručnjak (ekspert) te će se dalje u radu napraviti analiza na temelju prikupljenih odgovora.

Prvim pitanjem se na temelju samoevaluacije (gdje 1 označava da radno mjesto nije vezano za organizaciju prijevoza putnika i prometno planiranje u gradskom prometnom sustavu, dok 5 označava da radno mjesto je vezano za organizaciju prijevoza putnika i prometno planiranje u gradskom prometnom sustavu) ispitanika napravila procjena u kojoj mjeri je njihovo radno mjesto vezano za organizaciju prijevoza putnika i prometno planiranje u gradskom prometnom sustavu. Kao što se može vidjeti na grafikonu 1, većina ispitanika radi na području organizacije i planiranja gradskog prometa što znači da su isti upoznati s važnosti brojanja putnika.



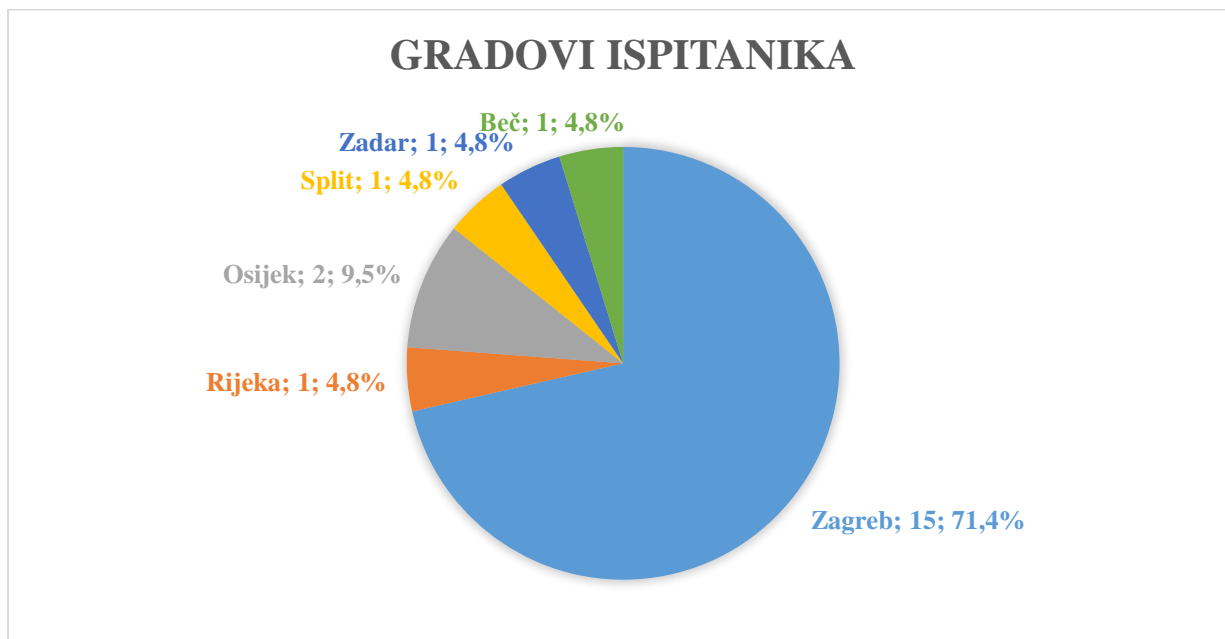
Grafikon 1: Prikaz povezanosti radnog mjesta ispitanika s organizacijom prijevoza putnika i prometnog planiranja u javnom gradskom prometnom sustavu

Rezultati drugog pitanja, kojim je omogućen višestruki odabir odgovora mogu se vidjeti na grafikonu 2. Na temelju navedenog grafikona, može se uočiti da većina ispitanika radi na području koji se tiču planiranja i organizacije autobusnog i tramvajskog prometa.



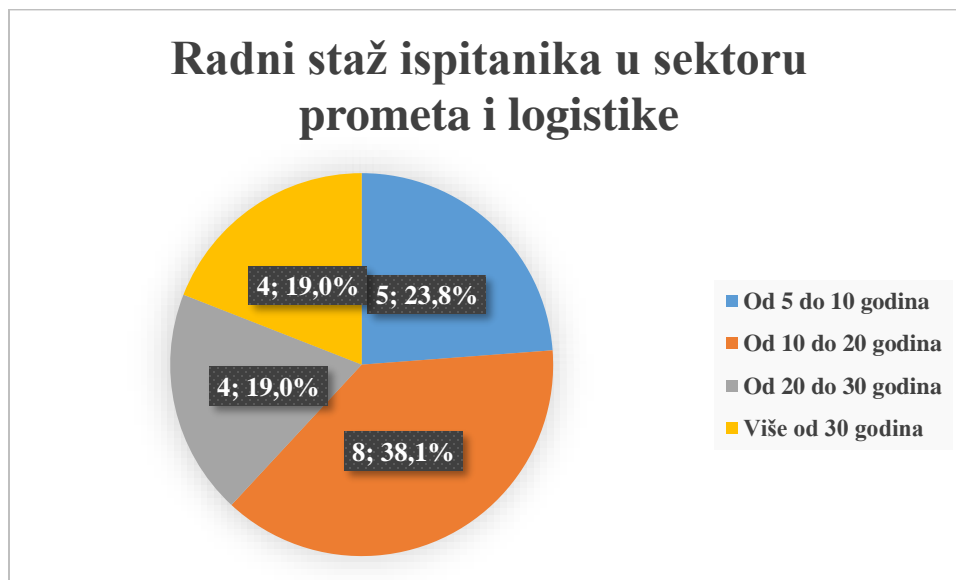
Grafikon 2: Vežanost radnih mjesta ispitanika za pojedine podsustave gradskog prometa

Trećim pitanjem su prikupljene informacije o mjestu rada ispitanika. Prikupljeni odgovori se mogu vidjeti na grafikonu 3. Može se uočiti da najveći broj ispitanika radi na području Zagrebu i/ili okolice što je ujedno i razlog zašto se na grafikonu 2 mogu vidjeti da su tramvajski i autobusni promet najzastupljenije područje rada stručnjaka.



Grafikon 3: Gradovi u kojim je radno mjesto ispitanika. Format prikaza odgovora na grafu [grad, broj odgovora, ukupni postotak odgovora]

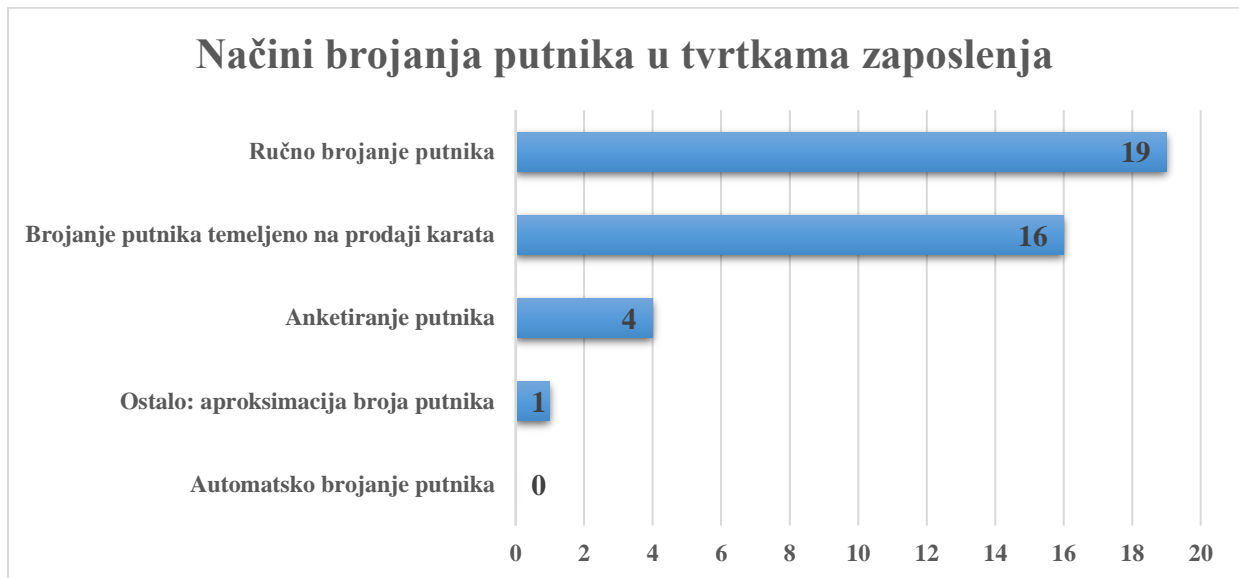
Četvrtim pitanjem su se prikupile informacije o radnom stažu ispitanika na području organizacije i planiranja javnog gradskog prometa. Rezultati četvrtog pitanja se može vidjeti na grafikonu 4. Također se može uočiti da nijedan ispitanik ne radi manje od pet godina u struci.



Grafikon 4: Radni staž ispitanika u sektoru prometa i logistike. Format odgovora na grafu [broj odgovora, postotak odgovora]

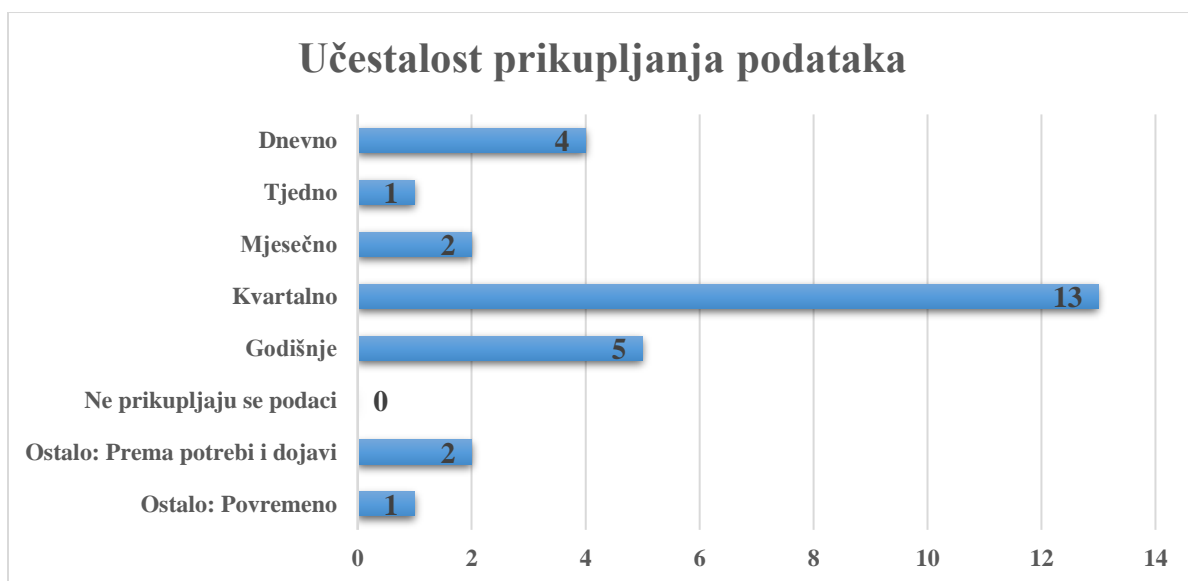
Petim pitanjem, kojim je omogućen odabir višestrukih odgovora, su se utvrdile najkorištenije metode prikupljanja putnika što je ujedno i prikazano grafikonom 5. Kao što se može

uočiti, najzastupljenije metode prikupljanja informacija o broju putnika su na temelju ručnog brojanja i brojanje temeljeno na prodaji karata. Također je bitno naglasiti da ni u jednoj tvrtki u kojima rade stručnjaci još nije implementiran sustav APC-a.



Grafikon 5: Metode brojanja putnika u tvrtkama zaposlenja

Šestim pitanjem, kojim je omogućen višestruki odabir odgovora, prikupljeni su podaci o učestalosti prikupljanja podataka o broju putnika. Kao što se može vidjeti na grafikonu 6, većina ispitanika, tj. tvrtki prikuplja podatke o broju putnika na kvartalnoj bazi. Također je bitno napomenuti da nijedna tvrtka nije odgovorila da ne prikupljaju podatke što znači da se prepoznaje važnost brojanja putnika za planiranje javnog gradskog prijevoza.



Grafikon 6: Učestalost prikupljanja podataka o broju putnika



Grafikonom 7 su prikazani razlozi prikupljanja podataka o broju putnika.



Grafikon 7: Prikaz razloga prikupljanja broja putnika – ispitaniku ponuđeno da odabere više opcija

Osmim pitanjem je određeno koje odluke se donose na temelju prikupljenih podataka. Kao što se može vidjeti na grafikonu 8, odluke se tiču prenamjene postojećih resursa sa svrhom optimizacije poslovanja organizacije. Odgovori na grafikonu 7 i grafikonu 8 su uzajamno povezani. Naime, kako bi se odredilo koji podaci se moraju prikupiti, mora se prvo odrediti koja je svrha, tj. kako će se koristiti prikupljeni podaci za donošenje odluke.



Grafikon 8: Korištenje podataka o broju putnika

Devetim pitanjem (gdje ocjena 1 označava da ispitanik ne smatra metodu prikupljanja podataka pouzdanom, a ocijena 5 označava da ispitanik smatra metodu prikupljanja podataka pouzdanom) je zatraženo mišljenje ispitanika o pouzdanosti metoda koje isti koriste u tvrtkama zaposlenja. Kao što se može vidjeti na grafikonu 9, većina ispitanika je nezadovoljna, tj. ne smatra korištenu metodu brojanja putnika učinkovitom i pouzdanom. Upravo na temelju podataka prikazanih u grafikonu 9 se može vidjeti razlog zašto se sve više teži prema automatizaciji brojanja putnika.



Grafikon 9: Ocjena pouzdanosti korištenih metoda brojanja putnika

Desetim pitanjem su se prikupili odgovori na pitanje koji zaključci i mjere se donose na temelju podataka o brojanju putnika. Navedeno pitanje je bio tekst dugog odgovora te se isti mogu sažeti da se donose mjere kojima se:

- Obavlja prenamjena resursa
- Usklađivanje ponude i potražnje
- Izrada i/ili izmjena voznog reda
- Revizija linija te određivanje učinkovitosti linija
- Upravljanje prijevoznim sustavom

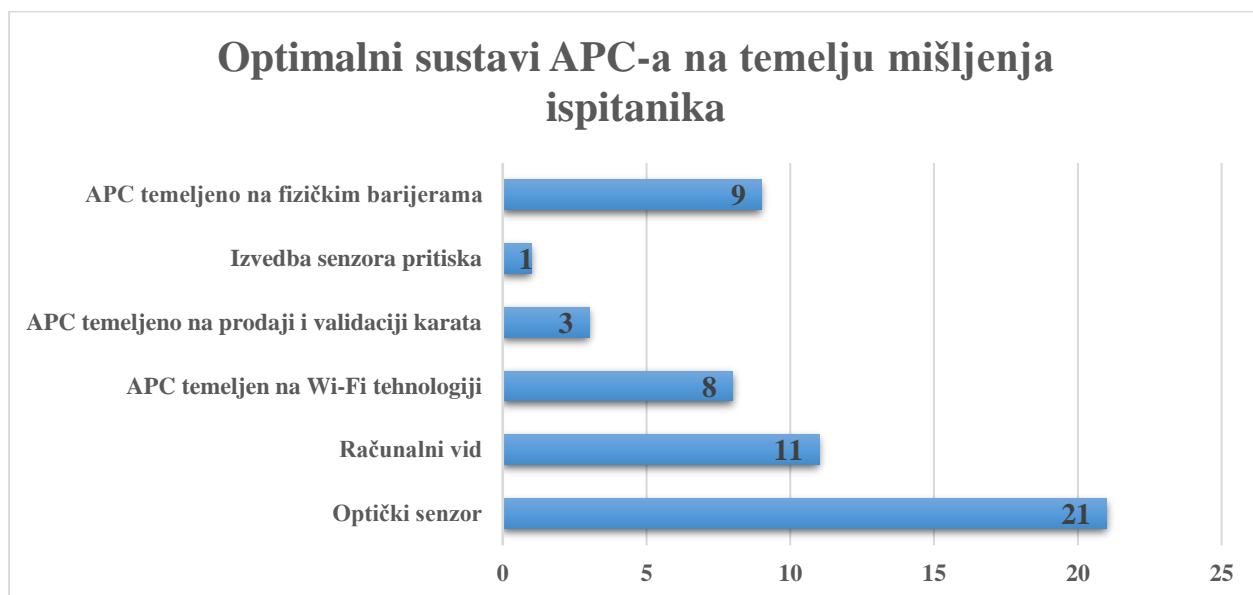
Grafikonom 10 prikazana je upoznatost ispitanika sa sustavima APC-a na temelju samoevaluacije (od 1 do 5, gdje 1 označava da ispitanik nije upoznat, a 5 označava da je ispitanik jako upoznat). Kao što se može vidjeti na grafikonu 10, većina ispitanika je slabije upoznata sa sustavima APC-a i razlog tome jest upravo činjenica da nijedna tvrtka u kojima rade ispitanici ne koristi sustave APC-a kao što se može uočiti na grafikonu 5.



Grafikon 10: Upoznatost ispitanika s APC sustavima

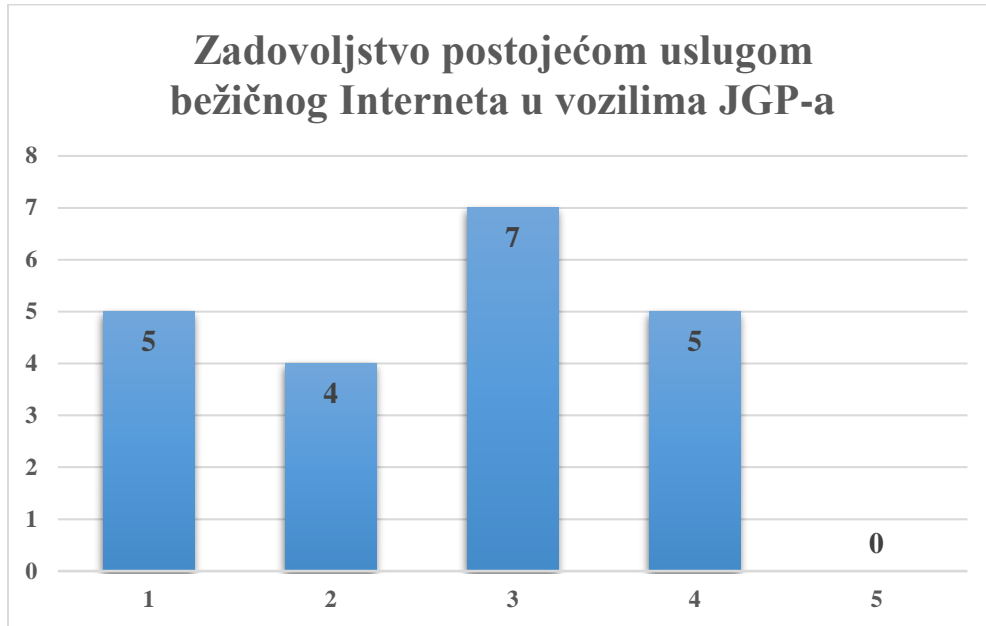
Dvanaestim pitanjem (tekst dugog odgovora) je utvrđeno u kojoj mjeri su ispitanici koristili neke od sustava APC-a. Prema prikupljenim odgovorima, većina ispitanika nije imala priliku koristiti APC. Dok oni koji su imali priliku koristili su optičke senzore.

Nadalje, prikupljena su mišljenja ispitanika, tj. stručnjaka o pojedinim tehnologijama APC-a. Kao što se može vidjeti na grafikonu 11, većina ispitanika smatra optički senzor optimalnim rješenjem za automatsko brojanje putnika te manji udio smatra da računalni vid, APC temeljen na fizičkim barijerama i na Wi-Fi tehnologiji korisnim APC-om.



Grafikon 11: Optimalni sustavi APC-a po mišljenju ispitanika

Zatim, utvrđeno je zadovoljstvo ispitanika postojećom uslugom bežičnog Interneta te je ista prikazana grafikonom 12 (ocijena 1 označava da ispitanik ne smatra Wi-Fi u vozilima zadovoljavajućim, a ocijena 5 označava da ispitanik smatra Wi-Fi u vozilima zadovoljavajućim). Kao što se može vidjeti, većina ispitanika nije zadovoljna kvalitetom usluge. Prema tome, može se zaključiti da varijabilna okolina javnog gradskog prometa ima velik utjecaj na kvalitetu WLAN mreže u vozilima JGP-a. Osim toga, može se zaključiti da relativno niski broj ispitanika koji smatraju APC temeljen na Wi-Fi tehnologiji pouzdanim (prikazano na grafikonu 11) je posljedica nezadovoljstva ispitanika kvalitetom usluge bežičnog pristupa Internetu u vozilima JGP-a (grafikon 12).



Grafikon 12: Zadovoljstvo ispitanika s već postojećom uslugom bežičnog pristupa Internetu u vozilima JGP-a

Zadnjim pitanjem anketnog istraživanja je utvrđeno u kojoj mjeri se planira korištenje sustava automatskog brojanja putnika. Odgovor na pitanje je bilo formirano kao tekst dugog odgovora te se iz istih može vidjeti da većina tvrtki planira nabavu sustava automatskog brojanja putnika te prema grafikonu 11 se može zaključiti da je riječ o optičkim sensorima.

## 7. Zaključak

U diplomskom radu napravljen je pregled mogućih rješenja brojanja putnika temeljenih na Wi-Fi tehnologiji koji su primjenjivi u vozilima javnog gradskog prijevoza (JGP). Kao što se može vidjeti u poglavlju četiri, gdje je napravljen pregled testiranja izvedbi rješenja temeljenih na Wi-Fi tehnologiji, najzastupljenije rješenje je temeljeno na nadzoru mrežnog prometa koristeći terminale u *monitor* modu. Razlog tome jest taj što koristeći ovu izvedbu je omogućena najveća fleksibilnost u kontekstu detekcije *probe request* okvira kao i razvoj metoda za identifikaciju uređaja koji su izvan ili unutar vozila. Osim toga, bitno je naglasiti da je bitnija stabilna pouzdanost nego visoka pouzdanost koja varira. Razlog tome jest taj kada je pouzdanost stabilna, ista se lakše može kompenzirati sa stvarnim brojem putnika u vozilu.

Također, u diplomskom radu napravljen je pregled mogućnosti implementacije već spomenutih rješenja u tramvajima ZET-a (grad Zagreb) pritom uzimajući u obzir već postojeću infrastrukturu, tj. implementiranu WLAN mrežu u vozilima (autobusi i tramvaji). Kao što se može vidjeti prema rezultatima ispitivanja parametara kvalitete mreže, brojanje putnika je izvedivo. Nadalje, zaključeno je da je najisplativiji način korištenje terminala čije su mrežne kartice postavljene u *monitor* mode. Razlog tome zašto je ova izvedba izabrana jest upravo fleksibilnost kao i pristupačna cijena komponenti potrebnih za izvedbu. Također, moguće je u ZET-ovim vozilima implementirati kompletan sustav kojim bi se omogućilo prikupljanje te slanje podataka u bazu te njihova daljnja automatizirana obrada, međutim takva izvedba zahtjeva značajnija financijska ulaganja. Kako bi se takav sustav implementirao, prvo se moraju provesti dodatna testiranja kako bi se dobila stabilna pouzdanost te razviti kalibracijske metode sa svrhom određivanja stvarnog broja putnika u vozilu.

Prema rezultatima provedenog istraživanja nad ciljanom skupinom stručnjaka/eksperata u cilju utvrđivanja načina brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza metodom anketiranja utvrđeno je da se većina tvrtki još uvijek oslanja na ručno brojanje putnika kao i brojanje putnika temeljeno na validaciji. Nijedna anketirana tvrtka ne koristi sustave APC. Također, većina ispitanika ne smatra navedene metode brojanja pouzdanima što je ujedno i razlog zašto se teži prema automatizaciji brojanja putnika. Nadalje, ispitanici imaju „prosječnu“, tj. opću razinu znanja oko APC sustava budući da isti nisu imali priliku koristiti sustave izvan testnih okolina. Nadalje, većina stručnjaka smatra optičke senzore optimalnom izvedbom, dok tek relativno manji broj ispitanika smatra brojanje temeljeno na Wi-Fi tehnologiji pouzdanim (grafikon 11). Razlozi mogu biti razni, međutim jedna od pretpostavki je da se Wi-Fi tehnologija kao temelj APC-a ne smatra pouzdanom zato što je to zapravo posljedica nezadovoljstva ispitanika kvalitetom usluge bežičnog pristupa Internetu u vozilima JGP-a (grafikon 12) kao i posljedica opće razine znanja ispitanika o sustavima APC-a (grafikon 10).

Za buduća istraživanja predviđa se provođenje anketnog upitnika namijenjenog putnicima koji koriste ZET-ova vozila (autobusi i tramvaji). Također, u budućim istraživanjima se očekuje dodatna razrada studije slučaja odnosno ispitivanje mogućnosti brojanja putnika/osoba putem Wi-

Fi tehnologije u kontroliranim uvjetima (primjerice ulazak u zgradu Fakulteta i slično) i u vozilima. Implementacija ovakve izvedbe tehnologije za brojanje putnika otvara brojne dodatne mogućnosti. Pod time se podrazumijeva da korištenje samo jedne tehnologije za automatsko brojanje putnika nije praktično, što se može očitovati u varijabilnoj pouzdanosti sustava. Prema tome, realna i stabilna izvedba sustava automatskog brojanja putnika se može dobiti korištenjem hibridnih sustava brojanja putnika što podrazumijeva korištenje više tehnoloških izvedbi istovremeno poput računalnog vida, Wi-Fi tehnologije, IR tehnologije, itd.

Osim toga, sustavi automatskog brojanja putnika kao tehnološke izvedbe su jedan od koraka prema konceptu pametnog grada koji je sastavni dio „moderne industrijske revolucije“ koja se zove „Društvo 5.0; Društvo u čijem je središtu čovjek“. Postepena implementacija i automatizacija tehnoloških rješenja i procesa je put prema konceptima čija je glavna svrha olakšati ostvarenje ekonomskog razvoja kao i stabilnost istoga te pronaći rješenje za društvene probleme među kojima je i dostupnost javnog prijevoza. Naime, sustavi automatskog brojanja putnika bit će samo jedna od komponenata automatiziranog sustava JGP-a. Pod time se podrazumijeva široka primjena autonomnih vozila JGP-a koja će biti u mogućnosti mijenjati ili prilagođavati svoju liniju po potrebi na temelju podataka dobivenih korištenjem umjetne inteligencije koja prethodno obrađuje podatke i donosi zaključak na temelju brojnih čimbenika, među kojima su i podaci dobiveni od sustava za automatsko brojanje putnika.

## Literatura

- [1] Brčić D, Ševrović M. Logistika prijevoza putnika, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.
- [2] Štefančić G. autorizirana predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti  
Preuzeto sa: <http://files.fpz.hr/Djelatnici/gstefancic/Gordana-Stefancic-Tehnologija-gradskog-prometa-I.pdf> (pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [3] Slavulj M. autorizirana predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti  
Preuzeto sa: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/S/Sigurnost\\_cestovnog\\_i\\_gradskog\\_prometa\\_I/Materijali/bp\\_08\\_03\\_2010.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/S/Sigurnost_cestovnog_i_gradskog_prometa_I/Materijali/bp_08_03_2010.pdf) (pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [4] Boyle D K. Transit Cooperative Research Program. National Research Council. Transportation Research Board. Washington, D.C. : National Academy Press; 1998.
- [5] Strinavić E. Analiza tehnoloških rješenja automatskog brojanja putnika u javnom gradskom prometu, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2019.
- [6] Miletić A I. Prometna analiza i idejno rješenje nove regulacije prometnih tokova u ulici bana Josipa Jelačića u Ljubuškom, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [7] Perić M. Sustavi za automatsko brojanje prometa u javnom gradskom prijevozu, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [8] Kavran Z, Grgurević I. autorizirana predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti  
Preuzeto sa: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/R/Racunalne\\_mreze/Materijali/1\\_Predavanje.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/R/Racunalne_mreze/Materijali/1_Predavanje.pdf) (pristupljeno kolovoz 2020.)
- [9] Wetherall J D, Tanenbaum S A. Computer networks fifth edition, Pearson education, Boston, Massachusetts, 2011.
- [10] Sandberg B. Networking The Complete Reference Third Edition, McGraw-Hill Education; 3rd Edition, New York, 2015.
- [11] Rackley S. Wireless Networking Technology: From Principles to Successful Implementation 1st Edition, Oxford. Burlington, 2007.
- [12] Cisco CCNA – Wirelss BSS & ESS. Preuzeto sa: <https://www.certificationkits.com/cisco-certification/ccna-articles/cisco-ccna-wireless/cisco-ccna-wirelss-bss-a-ess/> (Pristupljeno kolovoz 2020.)



- [13] Gast M. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition. O'Reilly Media; Sebastopol, 2002.
- [14] Wi-Fi Alliance. Preuzeto sa: <https://www.wi-fi.org/knowledge-center/faq/what-are-passive-and-active-scanning> (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [15] Šimunić I. Prijedlog unaprjeđenja arhitekture mreže IEEE 802.11 primjenom alata *Ekahau Site Survey*, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018.
- [16] 802.11 Association Process Explained. Preuzeto s: [https://documentation.meraki.com/MR/WiFi\\_Basics\\_and\\_Best\\_Practices/802.11\\_Association\\_Process\\_Explained](https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/802.11_Association_Process_Explained) (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [17] Dynamic Host Configuration Protocol. Preuzeto s: <https://www.efficientip.com/what-is-dhcp-and-why-is-it-important/> (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [18] Oliveira L, Schneider D, De Souza J, Shen W. Mobile Device Detection Through WiFi Probe Request Analysis. *IEEE Access*, vol 7, 98579–98588 (2019)
- [19] 802.11 Client Active And Passive Scanning. Preuzeto s: <http://www.my80211.com/home/2010/1/11/80211-client-active-and-passive-scanning.html> (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [20] Mehmood U, Moser I, Jayaraman P P, Banerjee A. Occupancy Estimation using Wi-Fi: A Case Study for Counting Passengers on Busses. *IEEE 5th World Forum on Internet of Things*, 165–170 (2019)
- [21] Chapter: Configuring Probe Request Forwarding. Preuzeto s: [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/7-4/configuration/guides/consolidated/b\\_cg74\\_CONSOLIDATED/b\\_cg74\\_CONSOLIDATED\\_chapter\\_01111010.html?fbclid=IwAR1yHgSWQd9k-nTaat3z9g\\_toB2dxwNcwJe9JfygtZyhombC8CZrMaH00Lw](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/7-4/configuration/guides/consolidated/b_cg74_CONSOLIDATED/b_cg74_CONSOLIDATED_chapter_01111010.html?fbclid=IwAR1yHgSWQd9k-nTaat3z9g_toB2dxwNcwJe9JfygtZyhombC8CZrMaH00Lw) (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [22] Capturing Beacons and Probe Requests of Public WiFi Access Points - The Why, How, and Stats. Preuzeto s: <https://blog.samcater.com/capturing-beacons-and-probe-requests-of-public-wifi-access-points-the-why-how-and-stats/> (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [23] Yoshida T, Taniguchi Y. Estimating the number of people using existing WiFi access point in indoor environment, Faculty of Science and Engineering, 3-4-1, Kowakae, Higashi-Osaka, Osaka, Japan
- [24] People counting system. Preuzeto sa: <https://sensmax.eu/solutions/people-counting-system/> (Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [25] Grgurević I, Jurišić K, Rajič V. Review of Automatic Passenger Counting Systems in Public Urban Transport, *EAI MMS 2020.*, 5th EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems [neobjavljeno]

- [26] Hidayat A, Terabe S, Yaginuma H. Determine Non-Passenger Data from Wi-Fi Scanner Data (MAC Address), A Case Study: Romango Bus, Obuse, Nagano Prefecture, Japan, International review for spatial planning and sustainable development A: Planning Strategies and Design, Concept, Vol.6 No.3 (2018), 154-167
- [27] Kalikova J, Krcal J. People counting by means of Wi-Fi, Smart Cities Symposium. Prague 2017.
- [28] Mose I, McCarthy C i ostali. A Methodology for Empirically Evaluating Passenger Counting Technologies in Public Transport, Australasian Transport Research Forum 2019 Proceedings
- [29] Nitti M, Pinna F, Pintor L, Pilloni V and Barabino B. iABACUS: A Wi-Fi-Based Automatic Bus Passenger Counting System. Energies, no. 6, vol. 13, 1–21 (2020)
- [30] Myrvoll T A, Håkegård J E, Matsui T, Septier, F. Counting Public Transport Passenger Using WiFi Signatures of Mobile Devices. IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 1–6 (2017)
- [31] Hadte M, Iqbal U M, i ostali. Crowd Density Estimation for Public Transport Vehicles, University of Duisburg-Essen, Network Embedded System Group, Institute for Computer Science and Business Information Systems, siječanj 2014.
- [32] Juršić K, Rajič V., Ispitivanje Wi-Fi mreže u vozilima javnog gradskog putničkog prijevoza u gradu Zagrebu, rad za dekanovu nagradu, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2019.
- [33] Besplatan pristup Internetu uskoro u svim autobusima i tramvajima ZET-a. Preuzeto s: <https://www.bug.hr/internet/besplatan-pristup-internetu-uskoro-u-svim-autobusima-i-tramvajima-zet-a-6751> (Pristupljeno: rujan 2020.)
- [34] Interna dokumentacija tvrtke ZET: Funkcionalna specifikacija usluge pristupa internetu putem bežične telekomunikacijske mreže – Tramvaji
- [35] *E Kahau Wireless Design*. Preuzeto s: <https://www.ekahau.com/products/ekahau-connect/survey/> (Pristupljeno: rujan 2020.)
- [36] Li Y, Barthelemy J, Sun S, Perez P, Moran B. A Case Study of WiFi Sniffing Performance Evaluation, IEEE Access, PP 129224 – 129235. 2020.

## Popis kratica i akronima

AP	(engl. <i>Access Point</i> ) pristupna točka
APC	(engl. <i>Automatic Passenger Counting</i> ) automatsko brojanje putnika
BSS	(engl. <i>Basic Service Set</i> ) osnovni set usluga
CD	(engl. <i>Compact Disk</i> ) kompaktni disk
DHCP	(engl. <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> ) mrežni protokol za dodjeljivanje IP adresa
DS	(engl. <i>Distribution system</i> ) distribucijski sustav
DSSS	(engl. <i>Direct-sequence spread spectrum</i> ) modulacijska tehnika fizičkog sloja pojedinih 802.11 mreža
ESS	(engl. <i>Extended Service Set</i> ) prošireni set usluga
FHSS	(engl. <i>Frequency-hopping spread spectrum</i> ) modulacijska tehnika fizičkog sloja pojedinih 802.11 mreža
IEEE	(engl. <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ) međunarodna neprofitna profesionalna organizacija koja razvija i definira elektroničke i računalne standarde
IP	(engl. <i>Internet Protocol</i> ) internet protokol
ISM	(engl. <i>Industrial, scientific and medical</i> ) Industrijsko, znanstveno i medicinski frekvencijski raspon
ITU-R	(engl. <i>International Telecommunication Union Radiocommunication Sector</i> ) jedan od tri sektora ITU organizacije koji je odgovoran za radiokomunikacije
JGP	Javni gradski prijevoz
LAN	(engl. <i>Local Area Network</i> ) lokalne mreže
MAC address	(engl. <i>Media Access Control address</i> ) jedinstvena oznaka mrežnog uređaja
MAN	(engl. <i>Metropolitan Area Network</i> ) gradske mreže
OFDM	(engl. <i>Orthogonal frequency-division multiplexing</i> ) kodiranje digitalnih podataka na više frekvencijski podnosioca koju koriste pojedine 802.11 mreže
OUI	(engl. <i>Organizationally unique identifier</i> ) 24-bitni jedinstveni broj kojim se identificira proizvođač ili prodavač
PAN	(engl. <i>Private Area Network</i> ) privatne mreže

PR	(engl. <i>Probe Request</i> ) okvir u kojem se nalaze podaci o klijentskom uređaju
RFID	(engl. <i>Radio-frequency identification</i> ) tehnologija koja omogućuje identifikaciju tag-ova koji su u pravilu pričvršćeni na neki objekt
RSSI	(engl. <i>Received signal strength indication</i> ) snaga signala
SSID	(engl. <i>Service Set Identifier</i> ) mrežno ime
USB	(engl. <i>Universal Serial Bus</i> ) univerzalna serijska sabirnica
WAN	(engl. <i>Wide Area Network</i> ) globalne mreže
WLAN	(engl. <i>Wireless Local Area Network</i> ) bežična lokalna mreža
ZET	Zagrebački električni tramvaj

# Popis slika, tablica i grafikona

## Popis slika

Slika 1: Proces brojanja putnika.....	6
Slika 2: Hijerarhijski pregled područja interesa diplomskog studija – od računalnih mreža do Wi-Fi kao temelj APC-a .....	11
Slika 3: Infrastrukturna topologija s komponentama WLAN mreže .....	14
Slika 4: Razmjena upravljačkih okvira između klijentskog uređaja i pristupne točke .....	17
Slika 5: Pojednostavljeni prikaz funkcioniranja sustava automatskog brojanja putnika .....	23
Slika 6: Područje istraživanja u funkciji diplomskog rada.....	25
Slika 7: Pregled mogućih rješenja temeljenih na Wi-Fi tehnologiji .....	27
Slika 8: Načelni prikaz APC-a temeljenog na aktivnom skeniranju.....	29
Slika 9: Prikaz tramvajskih linija na kojima su provedena ispitivanja .....	35
Slika 10: Ruta kretanja kroz tramvaj tijekom mjerenja.....	36
Slika 11: Shema niskopodnog tramvaja TMK 2200 konzorcije Crotram.....	36
Slika 12: Snaga signala 2.4 GHz.....	38
Slika 13: Snaga signala 5 GHz.....	39
Slika 14: Odnos signal/šum 2.4 GHz .....	40
Slika 15: Odnos signal/šum 5 GHz .....	40
Slika 16: Preklapanje signala 2.4 GHz.....	41
Slika 17: Preklapanje signala 5 GHz.....	42

## Popis tablica

Tablica 1: Računalne mreže prema obuhvatu područja .....	10
Tablica 2: IEEE 802.11 standardi i amandmani.....	13
Tablica 3: Usluge 802.11 mreže.....	14
Tablica 4: Pregled postojećih rješenja brojanja putnika temeljenih na Wi-Fi tehnologiji .....	30
Tablica 5: Zahtjevi bežične mreže u vozilima ZET-a .....	37

## Popis grafikona

Grafikon 1: Prikaz povezanosti radnog mjesta ispitanika s organizacijom prijevoza putnika i prometnog planiranja u gradskom prometnom sustavu .....	44
Grafikon 2: Vežanost radnih mjesta ispitanika za pojedine podsustave gradskog prometa .....	45
Grafikon 3: Gradovi u kojima je radno mjesto ispitanika.....	46
Grafikon 4: Radni staž ispitanika u sektoru prometa i logistike .....	46
Grafikon 5: Metode brojanja putnika u tvrtkama zaposlenja .....	47
Grafikon 6: Učestalost prikupljanja podataka o broju putnika .....	47
Grafikon 7: Prikaz razloga prikupljanja broja putnika .....	48
Grafikon 8: Korištenje podataka o broju putnika.....	48
Grafikon 9: Ocjena pouzdanosti korištenih metoda brojanja putnika .....	49
Grafikon 10: Upoznatost ispitanika s APC sustavima .....	50
Grafikon 11: Optimalni sustavi APC-a po mišljenju ispitanika.....	51
Grafikon 12: Zadovoljstvo ispitanika s već postojećom uslugom bežičnog pristupa Internetu u vozilima JGP-a .....	52

## Prilog

Naslov ankete: Utvrđivanje broja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza

Tekst ankete:

Poštovana/-i,

zovem se Vinko Rajič i student sam završne godine diplomskog sveučilišnog studija Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Anketni upitnik izrađen je u svrhu izrade diplomskog rada. Za razliku od ostalih anketa koje se obično orijentiraju na korisničku perspektivu (prikupljanje mišljenja i stavova) u kontekstu provođenja analize zadovoljstva korištenjem različitih prijevoznih usluga, ova anketa je orijentirana na perspektivu stručnjaka (eksperata) s ciljem utvrđivanja postojećeg stanja i mogućnosti uvođenja sustava automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza (JGP). Na temelju ovog istraživanja utvrdit će se mišljenja i stavovi stručnjaka iz javnog gradskog prijevoza vezano za problematiku utvrđivanja broja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza.

Anketa je anonimna te je potrebno pet do deset minuta za rješavanje.

Zahvaljujem Vam na suradnji i vremenu odvojenom za rješavanje ove ankete!

1. Je li Vaše radno mjesto vezano za organizaciju prijevoza putnika i prometno planiranje u gradskom prometnom sustavu?

Ocjenivanje od 1 do 5 gdje je 1 radno mjesto nije vezano za organizaciju prijevoza putnika i prometno planiranje u gradskom prometnom sustavu, a 5 radno mjesto je vezano za organizaciju prijevoza putnika i prometno planiranje u gradskom prometnom sustavu.

2. Za koji je podsustav gradskog prometa Vaše radno mjesto direktno vezano (autobusni/tramvajski/paratranzit/uspinjača/laka željeznica/metro/dr.)?
  - a) Autobusni promet
  - b) Tramvajski promet
  - c) Paratranzit
  - d) Laka željeznica
  - e) Metro
  - f) Uspinjača ili žičara
  - g) Ostalo
3. Za koji je grad Vaše radno mjesto vezano?
  - a) Zagreb
  - b) Rijeka
  - c) Osijek
  - d) Split

- e) Zadar
- f) Beč
- g) Budimpešta
- h) Ljubljana
- i) München
- j) Ostalo

4. Koliko godina radite u sektoru prometa i logistike?

- a) Do 1 godine
- b) Od 1 do 5 godina
- c) Od 5 do 10 godina
- d) Od 10 do 20 godina
- e) Od 20 do 30 godina
- f) Više od 30 godina

5. Na koji način u tvrtki zaposlenja prikupljate podatke o broju putnika?

- a) Ručno brojanje putnika
- b) Automatsko brojanje putnika
- c) Brojanje putnika temeljeno na prodaju karata
- d) Anketiranje putnika
- e) Ostalo

6. Koliko često prikupljate podatke o broju/brojanju putnika?

- a) Dnevno
- b) Tjedno
- c) Mjesečno
- d) Kvartalno
- e) Godišnje
- f) Ne prikupljamo podatke o broju putnika
- g) Ostalo

7. Koja tri razloga prikupljanja podataka o broju putnika smatrate najvažnijim?

- a) Broj putnika po ruti
- b) Broj putnika po putovanju
- c) Određivanje ukupnog broja putnika, tj. korisnika određene usluge prijevoza
- d) Broj ulaska i izlaska putnika po određenim stanicama
- e) Broj putnika na točkama gdje je najveća koncentracija putnika
- f) Broj putnika po danu i vremenskom razdoblju
- g) Broj putnika na određenim dijelovima linije, tj. rute
- h) Odstupanje od rasporeda vožnje
- i) Utvrđivanje uzoraka ponašanja na određenim linijama



j) Ostalo

8. Za što koristite podatke o brojanju putnika?

- a) Pregled promjena u broju putnika (praćenje trendova)
- b) Dodavanje ili uklanjanje putovanja
- c) Revizija postojeće linije ili rute (promjena, dodavanje ili uklanjanje ruta)
- d) Određivanje učinkovitosti pojedinih linija
- e) Izmjena u rasporedu vožnje
- f) Određivanje lokacija za zaustavne stanice

9. Smatrate li metodu prikupljanja podatka o broju putnika koju trenutno koristite pouzdanom?

Ocjenivanje od 1 do 5 gdje je 1 ne smatram metodu prikupljanja podataka pouzdanom, a 5 smatram metodu prikupljanja podataka pouzdanom

10. Koje zaključke i mjere donosite na temelju prikupljenih podataka o brojanju putnika?

Tekst dugog odgovora

11. Jeste li upoznati s konceptom automatskog brojanja putnika (APC)?

Ocijene od 1 do 5 gdje je 1 nisam upoznat/a, a 5 jako sam upoznat/a.

12. Jeste li koristili neki/neke od sustava automatskog brojanja putnika (APC) i koji/koje?

Tekst dugog odgovora

13. Koji sustav automatskog brojanja putnika (APC) smatrate najboljim (odaberite dva)?

- a) Optički senzor (npr. infracrveno)
- b) Računalni vid
- c) Automatsko brojanje putnika temeljeno na Wi-Fi tehnologiji
- d) Automatsko brojanje putnika temeljeno na prodaji i validaciji karata
- e) Izvedba senzora pristika
- f) Automatsko brojanje putnika temeljeno na fizičkim barijerama
- g) Ostalo

14. U kojoj mjeri smatrate trenutni bežični Internet (Wi-Fi) u vozilima javnog gradskog prijevoza zadovoljavajućim?

Ocjenivanje od 1 do 5 gdje je 1 ne smatram Wi-Fi u vozilima zadovoljavajućim, a 5 smatram Wi-Fi u vozilima zadovoljavajućim.

15. Planira li vaša tvrtka koristiti automatsko brojanje putnika (APC) i koje?

Tekst dugog odgovora



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski 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 \_\_\_\_\_ diplomskog rada

pod naslovom **Sustavi automatskog brojanja putnika u vozilima javnog gradskog prijevoza temeljnih na Wi-Fi tehnologiji**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 29.09.20

Vinko Rajič  
(potpis)