

# Mjerenje vremena putovanja u cestovnom prometu primjenom Bluetooth tehnologije

---

Horenec, Isabela

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*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:119:228052>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-19**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

Isabela Horenc

**MJERENJE VREMENA PUTOVANJA U CESTOVNOM  
PROMETU PRIMJENOM BLUETOOTH  
TEHNOLOGIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2022.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**MJERENJE VREMENA PUTOVANJA U CESTOVNOM  
PROMETU PRIMJENOM BLUETOOTH TEHNOLOGIJE**

**MEASURING TRAVEL TIMES IN ROAD TRAFFIC USING  
BLUETOOTH TECHNOLOGY**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

Studentica: Isabela Horenec

JMBAG: 1191227121

Zagreb, svibanj 2022.

Zagreb, 1. travnja 2022.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**  
Predmet: **Lokacijski i navigacijski sustavi**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6442

Pristupnik: **Isabela Horenc (1191227121)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Mjerenje vremena putovanja u cestovnom prometu primjenom Bluetooth tehnologije**

### Opis zadatka:

Izraditi pregled sustava za detekciju cestovnih vozila. Opisati značajke tehnologije Bluetooth s obzirom na svojstva signala i prijenosa te ograničenja u vidu dometa uslijed ograničenja u izračenoj snazi pojedinih klasa uređaja. Objasniti način detekcije vozila pomoću detektora Bluetooth signala te mogućnosti klasifikacije vozila s obzirom na tip prijevoznog sredstva. Opisati sustav za detekciju vozila pomoću Bluetooth signala koji omogućava mjerenje putovanja između dvije točke. Provesti mjerenje i analizu vremena putovanja pomoću sustava koji se sastoji od detektora Bluetooth signala i radara za detekciju vozila na cestovnom segmentu.

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

# **MJERENJE VREMENA PUTOVANJA U CESTOVNOM PROMETU PRIMJENOM BLUETOOTH TEHNOLOGIJE**

## **SAŽETAK**

Mjerenje i procjene vremena putovanja su bitne komponente u prometnom planiranju i praćenju prometnih trendova, te su postale sastavni dio inteligentnih transportnih sustava. Zbog široke uporabe uređaja opremljenih Bluetooth tehnologijom u svakodnevnom životu, njegove niske nabavne cijene i lake implementacije, Bluetooth postaje sve češći predmet prometnih istraživanja. Cilj ovoga rada je ispitati praktičnost i poizdanost korištenja Bluetooth detektora u svrhu mjerenja vremena putovanja na cestovnom segmentu. U radu su opisane specifikacije i funkcionalnosti Bluetooth tehnologije, te detekcija Bluetooth signala i uređaja iz okoline putem MAC adrese. Navedene su metode klasifikacija uređaja prema vrsti prijevoznog sredstva, te je napravljena analiza mjerenja putovanja nad podacima prikupljenih s dva Bluetooth detektora implementirana u prometnu infrastrukturu u širem centru Zagreba. Iznesena je interpretacija rezultata, a dobiveni rezultati pokazuju da se Bluetooth tehnologija može koristiti kao isplativ sustav za prikupljanje i obradu određenih podataka iz prometnog okruženja, kao i za računanje vremena putovanja. Iako još postoje određeni nedostaci korištenja Bluetooth tehnologije za prometna istraživanja, Bluetooth ipak ima velik potencijal u daljnjem nadzoru i upravljanju prometnom mrežom te praćenju sudionika u prometu i njihovog kretanja u urbanom okruženju.

Ključne riječi: Bluetooth komunikacijski protokol, Bluetooth detektor, MAC adresa, vrijeme putovanja

# **MEASURING TRAVEL TIMES IN ROAD TRAFFIC USING BLUETOOTH TECHNOLOGY**

## **SUMMARY**

Estimation and measurement of the travel times represent an important component in traffic planning and monitoring of traffic trends. Those measurements became an integral part of intelligent transport systems. Widespread use of devices equipped with Bluetooth technology in everyday life and Bluetooth's low price of production and implementation cause Bluetooth to be used as a frequent subject in traffic research. The main objective is to assess the practicality and reliability of using Bluetooth detectors for measuring travel times on a road segment. This paper describes specifications and functionalities of Bluetooth technology, detection of Bluetooth signal, detection of Bluetooth devices from the surroundings by using MAC address and methodologies of device classification according to the travel mode. Analysis has been done for the travel times based on the data gathered from two Bluetooth detectors, which have been installed in the traffic infrastructure of the wider city center of Zagreb. Data interpretation that resulted from analysis shown within this paper indicates that Bluetooth technology can be used as a reliable and affordable system for gathering data from the traffic environment. Collected data can be furthermore analysed for various purposes, including the calculation of travel times. Although there are still some disadvantages of using Bluetooth technology as a data collecting system in traffic research, there is a large potential in the technology for observation and managing traffic networks, so as for tracking traffic participants and their movements in urban environments.

Key words: Bluetooth communication protocol, Bluetooth detector, MAC address, travel time

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Pregled sustava za detekciju vozila.....	3
2.1. Točkasti senzori .....	4
2.1.1. Induktivna petlja .....	4
2.1.2. Radarski / infracrveni / mikrovalni / akustični / ultrazvučni senzori.....	4
2.1.3. Videodetektori .....	5
2.1.4. Detekcija na temelju težine i prolaska vozila .....	5
2.2. Senzori s dvije mjerne točke .....	5
2.3. Prostorni senzori .....	6
3. Značajke Bluetooth tehnologije .....	8
3.1. Bluetooth protokoli .....	8
3.1.1. Jezgrena protokoli .....	8
3.1.2. Protokol za emulaciju serijskih priključaka.....	10
3.1.3. Protokoli za nadzor telefonije.....	10
3.1.4. Preuzeti protokoli .....	10
3.2. Bluetooth arhitektura.....	11
3.3. Prednosti Bluetooth tehnologije.....	13
3.4. Nedostaci Bluetooth tehnologije.....	13
4. Detekcija Bluetooth signala i klasifikacija prema vrsti prijevoznog sredstva .....	16
4.1. Specifikacije opreme za prikupljanje BT podataka .....	17
4.2. Metode klasifikacije i problem identifikacije prijevoznog sredstva .....	18
5. Bluetooth sustav za detekciju vozila i mjerenje vremena putovanja .....	21
6. Mjerenje i analiza vremena putovanja pomoću razvijenog sustava na cestovnom segmentu.....	26
7. Zaključak.....	35
Literatura.....	36
Popis slika .....	38
Popis tablica .....	38
Popis grafikona .....	38
Popis kratica.....	39

## 1. Uvod

Tehnologija i telekomunikacijska industrija napreduju velikom brzinom i konstantno iznenađuju predstavljanjem zanimljivih inovacija. Bluetooth (BT) tehnologija jedna je od najraširenijih tehnologija prisutna u mnogim aspektima svakodnevnog života zbog sve dinamičnijeg pristupa življenju, poslovanju i komuniciranju. Svakodnevnica je bez uporabe malih prijenosnih uređaja opremljenih Bluetoothom poput mobitela, laptopa, bežičnih slušalica i pametnih satova gotovo nezamisliva, no osim toga Bluetooth tehnologija je postala bitna stavka sa širokom primjenom te velikim potencijalom i u drugim sektorima. Bluetooth ide “ruku pod ruku” s brzim razvojem Interneta stvari (eng. *Internet of Things-IoT*), koncepta koji predstavlja mrežnu infrastrukturu u kojoj fizičke i virtualne “stvari” različitih vrsta međusobno komuniciraju, čime su omogućeni novi načini kontrole i praćenja uređaja i pružanja usluga. Time Bluetooth tehnologija implementirana u IoT ima važnu ulogu u razvoju pametnih kuća te medicinskoj i industrijskoj uporabi. Stoga je očekivano da je Bluetooth tehnologija našla primjenjivost i u prometnom sektoru, pogotovo u istraživanju i ubrzavanju razvoja inteligentnih transportnih sustava.

Postoje već mnoga istraživanja za prikupljanje podataka u prometu, ali načini njihovih izvedbi variraju. Koriste se različite vrste tehnologija za detekciju različitih objekata i sudionika u prometnoj mreži, a u ovome radu će Bluetooth, kao jedna od takvih tehnologija, biti pobliže opisan. Bluetooth je međunarodno priznati standard kojim se razmjenjuju informacije pomoću radiovalova između elektroničkih uređaja kratkog dometa. Kao što je već ranije navedeno, uređaji koji podržavaju Bluetooth su veoma rašireni u svakodnevnoj uporabi, u zatvorenim i otvorenim prostorima te se lako mogu implementirati u postojeću prometnu infrastrukturu. Uporabom Bluetooth detektora u prometu mogu se zabilježiti jedinstvene MAC (eng. *Media Access Control*) adrese Bluetooth uređaja unutar dometa, a pomoću njih je moguće dobiti podatke o proizvođaču detektiranog uređaja. Osim toga, direktno se dobivaju i parametri poput relativne snage primljenog signala RSSI (eng. *Received Signal Strength Indicator*), točnog vremena detekcije uređaja i vremena zadržavanja unutar područja detekcije, a uporabom dva ili više detektora moguće je odrediti polazišno-odredišne matrice, dobiti podatke o vremenu putovanja i brzini. Time se Bluetooth može koristiti za praćenje i nadzor sudionika u prometu i prometno planiranje.

U sklopu izrade ovog završnog rada provedeno je prikupljanje, filtriranje i analiza Bluetooth podataka na cestovnom segmentu pomoću dva Bluetooth detektora. Rad je podijeljen u sedam poglavlja.



U drugom poglavlju napravljen je pregled već postojećih sustava i tehnologija za detekciju vozila te je svaki od njih pobliže opisan.

U trećem poglavlju su opisane karakteristike i funkcionalnosti Bluetooth komunikacijskog protokola, njegov način rada te prednosti i nedostaci korištenja Bluetooth tehnologije.

U četvrtom poglavlju opisano je na koji način se detektira Bluetooth signal i kako su formatirani podaci prikupljeni pomoću Bluetooth detektora. Navedene su specifikacije korištene opreme za prikupljanje podataka potrebnih za izradu ovoga rada, te je napravljen pregled metoda za klasifikaciju detektiranih Bluetooth uređaja u prometu prema vrsti prijevoznog sredstva.

U petom poglavlju dan je prikaz lokacija i usmjerenosti postavljenih Bluetooth detektora za prikupljanje prometnih podataka na stvarnom cestovnom segmentu. Opisani su parametri koji se mogu prikupiti jednim Bluetooth detektorom, te su opisane metode mjerenja vremena putovanja pomoću dva Bluetooth detektora.

U šestom poglavlju napravljena je analiza prikupljenih podataka. Interpretacija rezultata je detaljno raspisana uz grafičke prikaze.

U sedmom poglavlju donesena su zaključna opažanja.

## 2. Pregled sustava za detekciju vozila

Senzori i detektori su ključne tehničke komponente inteligentnih transportnih sustava, ITS-a (eng. *Intelligent transportation systems*), koje omogućuju prikupljanje podataka iz prometnog okruženja. Senzore se može tretirati kao dio detektora koji daju informaciju o nekoj mjerenoj veličini na temelju očitavanja senzorskih podataka. U pravilu, svako inteligentno ponašanje podrazumijeva sposobnost prikupljanja i obrade podataka o okruženju u kojemu se inteligentni sustav nalazi. Senzor možemo definirati kao dio sustava koji može reagirati na neku prirodnu pojavu, npr. svjetlo, toplinu, pritisak, električno ili magnetsko polje, koncentraciju plinova, itd., proizvodeći određeni signal o stanju medija gdje se nalazi. Na izlazu je najčešće električni signal koji se dalje obrađuje i prenosi do upravljačkog dijela sustava. [1]

Postoji više klasifikacija sustava za detekciju vozila prema vrstama senzora koji se koriste. Autori u [2] navode jednostavnu podjelu prema načinu implementacije same tehnologije – senzore dijeli na one koje se postavljaju ispod kolnika (eng. *In-roadway sensors*) i senzore iznad kolnika (eng. *Over-roadway sensors*).

*In-roadway* senzori ugrađuju se u sami kolnik, podlogu ili su na bilo koji način spojeni na površinu prometnice. Primjeri takvih senzora su induktivna petlja (upiljuje se u asfalt ili postavlja na prometnicu u izgradnji prije izlijevanja završnog sloja asfalta), senzor težine vozila u pokretu (eng. *Weight-in-motion-WIM*, ugrađuje se ispod kolnika), magnetometar (postavlja se ispod asfaltirane prometnice ili konstrukcije mosta) te mikropetlje, pneumatičke cijevi i piezoelektrički senzori koji se postavljaju na površinu prometnice. Većina takvih sustava za detekciju i nadzor vozila je u širokoj upotrebi zbog jednostavnog načina rada, ali mana njihove uporabe je remećenje prometa zbog instalacije i popravaka te eventualna nemogućnost implementacije u ceste lošije infrastrukture. [2]

*Over-roadway* senzori postavljaju se nad kolnikom, uzduž prometnice ili na određenoj udaljenosti od najbliže prometne trake. Skupini takvih senzora pripadaju senzori temeljeni na računalnom vidu i obradi slika (videosustavi, kamere), radarskim mikrovalnim, ultrazvučnim, infracrvenim, laserskim i akustičkim sensorima. Ugrađuju se na već postojeću infrastrukturu (stupove uzduž ceste, konstrukcije iznad ceste, visoke zgrade, odašiljačke tornjeve) i osim informacija o prisutnosti, prolasku i broju vozila, za razliku od *in-roadway* senzora, pružaju i podatke o brzini i klasifikaciji vozila te imaju doomet veći od jedne prometne trake i mogućnost detekcije više vozila odjednom. Kako bi se povećala točnost detekcija, često se

kombinira više od jedne tehnologije kao npr. infracrveni senzor sa ultrazvukom i Dopplerovim mikrovalnim radarom. [2]

Druga klasifikacija, koja će biti pobliže objašnjena u nastavku, je klasifikacija temeljena na funkcionalnosti senzora i kategorizira se kao točkasti senzori (eng. *point*), senzori s dvije mjerne točke (eng. *point-to-point*) i prostorni (eng. *area-wide*) senzori.

## **2.1. Točkasti senzori**

Točkasti senzori su najčešće korištena vrsta senzora danas. Postavljaju se na fiksne lokacije i imaju zadaću praćenja prolaska vozila ispod ili iznad njih. U takve senzore se ubrajaju:

- induktivna petlja
- radarski / infracrveni / mikrovalni / akustični / ultrazvučni senzori
- videodetektor (videosustavi)
- detekcija na temelju težine i prolaska vozila.

Podaci dobiveni ovim tehnologijama odnose se isključivo na promatrano područje oko fiksne lokacije senzora u određenoj jedinici vremena.

### **2.1.1. Induktivna petlja**

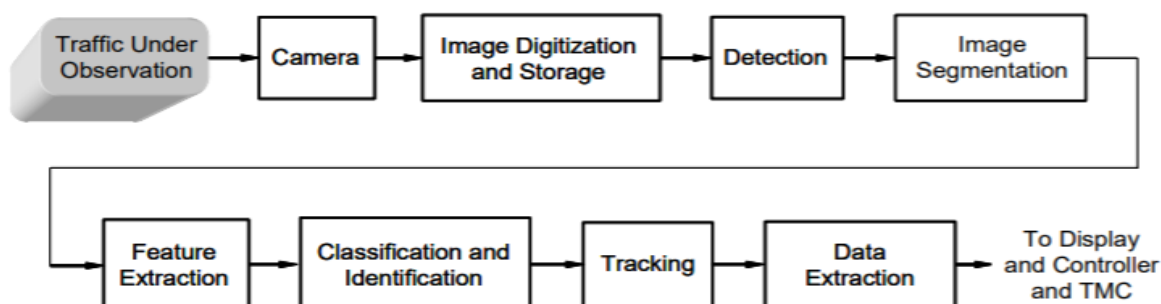
Induktivnu petlju čine namotaji žice (vodiča), uglavnom bakrene, koji se ugrađuju u gornji sloj asfalta. Princip rada induktivne petlje temelji se na mjerenju promjene induktiviteta žičane petlje zbog prisutnosti vozila u magnetskom polju petlje. Kao točkasti senzor omogućuje detekciju prisutnosti i prolaska vozila, broj vozila i gustoću, a ugradnjom više petlji dobivaju se dodatni prometni podaci o brzini i smjeru kretanja. Prednost ove tehnologije je u višestrukoj primjeni, pristupačnoj cijeni, mogućnosti klasifikacije vozila i točnosti dobivenih podataka, te neosjetljivosti na vremenske uvjete i jednostavnosti izvedbe što je čini jednom od najraširenije korištenih tehnologija. Nedostaci se očituju u intruzivnoj implementaciji koja također povlači probleme s održavanjem i uklanjanjem eventualnih kvarova sustava. Naime, prilikom otklanjanja kvarova neophodno je prekinuti promet u toj prometnoj traci. [2]

### **2.1.2. Radarski / infracrveni / mikrovalni / akustični / ultrazvučni senzori**

Tehnologije temeljene na ovim sensorima uzrokuju minimalne smetnje normalnim prometnim operacijama s obzirom na to da se ugrađuju u blizini prometnice, a ne u sami kolnik. Općenito su postavljeni na već postojeću infrastrukturu iznad kolnika ili uz kolnik. Većina tih senzora cijenom konkurira induktivnoj petlji, ako nije čak i niža.

### 2.1.3. Videodetektor

Detekcija pomoću videosustava radi na principu korištenja CCTV (eng. *Closed-circuit television*) kamera koje snimaju slike, odnosno videozapis, prometa na prometnici. Slike se tada računalo (softverski) analiziraju u svrhu nadzora stanja na prometnicama i raskrižjima, te za kontrolu prometa (Slika 1.). Također je moguće detektirati prometne incidente i klasificirati vozila. Gledajući s financijskog aspekta, početni troškovi mogu biti visoki, no takvi sustavi zahtijevaju minimalno održavanje čime je i ometanje prometnog toka dovedeno na najmanju razinu. Glavni nedostatak ove tehnologije je što nepogodni vremenski uvjeti (kiša, magla), zbog smanjene vidljivosti negativno utječu na performanse sustava.



Slika 1. Shema obrade slike za detekciju, klasifikaciju i praćenje vozila [2]

### 2.1.4. Detekcija na temelju težine i prolaska vozila

*Weigh-in-motion* (WIM) sustavi mjere i bilježe osovinsko opterećenje i ukupnu težinu vozila dok prelaze preko mjernog mjesta. Za razliku od statičkih mjernih uređaja, prednost WIM uređaja je što potpuno zaustavljanje vozila nije potrebno, već se mjerenje obavlja prelaskom vozila smanjenom brzinom preko mjernog mjesta. Na mjernom mjestu sustav bilježi sljedeće podatke: opterećenje svake osovine, udaljenost između osovina (u svrhu određivanja tipa vozila i njegove maksimalne dozvoljene težine), brzinu vozila, datum i vrijeme prolaska (vaganja). Najčešće se WIM uređaji koriste u kombinaciji sa CCTV sustavima s ciljem prepoznavanja registarskih oznaka i prikupljanja slika vozila (prednje, stražnje, bočne strane). Osim fiksnog WIM sustava, također postoji i prijenosna inačica sustava PAW (eng. *Portable axle weighing*). [3]

## 2.2. Senzori s dvije mjerne točke

*Point-to-point* tehnologija temelji se na detekciji vozila na dvije ili više lokacija kroz prometnu mrežu koristeći više točkastih senzora. Osim što podrazumijeva identifikaciju i praćenje vozila, također pruža i podatke o vremenima putovanja, odabiru i određivanju rute pojedinog vozila kao i smjera prometnog toka u cilju planiranja, nadziranja i upravljanja

prometnim sustavom zbog povećanja sigurnosti i zadovoljstva putnika. *Point-to-point* tehnologija može se podijeliti u tri kategorije: automatska identifikacija vozila (eng. *Automated Vehicle Identification* - AVI), identifikacija vozila bez “suradnje” vozača te prepoznavanje registarskih oznaka vozila.

Sustav automatske identifikacije vozila temelji se na principu identifikacije individualnog vozila opremljenog odgovarajućim uređajem na različitim lokacijama unutar prometne mreže, tj. zahtjeva da vozilo ima specijalnu elektroničku oznaku, sličnu onoj za elektroničku naplatu cestarine. Zbog tog nedostatka, od nedavno se više ulaže u razvoj sustava za identifikaciju vozila bez “suradnje” vozača korištenjem Bluetootha i Wi-Fi veza u mobitelima i ostalim uređajima putnika u vozilima. Prednost takvog pristupa je u tome što se samo detektira Bluetooth ili Wi-Fi adapter, tj. MAC adresa uređaja, pouzdajući se u to da je mobilni uređaj s aktivnom Bluetooth ili Wi-Fi adapterom unutar promatranog područja. S obzirom na to da ni putnici ni vozilo možda nemaju Bluetoothom opremljen uređaj ili vozilo može sadržavati i više od jednog Bluetooth uređaja, prikupljena kolekcija podataka mora se filtrirati i klasificirati prije određivanja parametara za analizu brzine i rute vozila.

Sustav prepoznavanja registarskih oznaka vozila koristi CCTV kamere koje snimaju registarske oznake koje bivaju prepoznate korištenjem specijalnog softvera za računalni vid i detekciju objekata u slici (eng. *Optical Character Recognition* - OCR) te su slane dalje na obradu u centralni sustav, koji ih filtrira i spaja s naknadnim detekcijama tog određenog vozila. Efektivnost takve tehnologije je limitirana osjetljivošću kamere na vremenske uvjete, s obzirom na to da nepogodni uvjeti poput kiše, magle ili snijega, te jaka svjetlost i refleksije, mogu bitno utjecati na točnost i analizu prikupljenih podataka. [4]

### **2.3. Prostorni senzori**

Brzim razvojem tehnologije, mobilni pametni telefoni, globalni položajni sustav GPS (eng. *Global Positioning Systems*) i navigacijski sustavi GLONASS (eng. *Global Navigation Satellite System*), Galileo te BeiDou privlače pozornost s obzirom na njihov potencijal za pružanje podataka u svrhu praćenja prometa u stvarnom vremenu, prometnog predviđanja i planiranja. Ove tehnologije puno obećavaju, ali još se rade mnoga razvojna istraživanja uključujući i zračne senzore kao što su bespilotne letjelice koje konstantno prelijeću i nadziru prometnu mrežu. Prometni podaci prikupljeni fotogrametrijom, videosnimcima i LIDAR-ima (eng. *Light Detection and Ranging*) prosljeđuju se centru za prometno upravljanje putem

bežičnih komunikacijskih mreža. GPS uređaji u vozilu prikupljaju podatke o lokaciji koji se šalju u centralni objekt za daljnju obradu, ali nedostatak ove tehnologije je što transfer podataka iz vozila zahtjeva bežičnu telekomunikacijsku vezu (npr. mobilnog telefona). Pružatelj mobilnih usluga može automatski prikupljati podatke o geolokaciji mobilnih telefona koji se dalje mogu koristiti za izvlačenje informacija o prometnom toku i brzini vozila. Koncept je još uvijek u istraživačkoj fazi, ali primjena u nekim segmentima već postoji, kao na primjer za mjerenje brzine i vremena putovanja, te identifikacije karakteristika prostornih i vremenskih zagušenja. Točnost ovakvih tehnologija limitirana je s nekoliko parametara, uključujući veličinu i gustoću GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*) ćelija prilikom korištenja tehnologije druge i treće generacije, no pojavom 4G LTE (eng. *Long Term Evolution*) i 5G tehnologije preciznost i točnost dobivenih podataka postaje bolja s obzirom da su ćelije manje. [4]

### **3. Značajke Bluetooth tehnologije**

Bluetooth je bežična tehnologija kratkog dometa za povezivanje i dijeljenje podataka između dva ili više uređaja različitih funkcija kao što su mobilni telefoni, osobna računala, printeri, tipkovnice, miševi, kamere, te različiti kućanski uređaji poput aparata za kavu. Osnovna ideja bila je zamijeniti kabele za povezivanje mobilnih uređaja bežičnom tehnologijom. Tijekom vremena Bluetooth je, uz Wi-Fi, postao jedan od najkorištenijih komunikacijskih protokola. Oba protokola pripadaju istoj IEEE 802 (eng. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) skupini protokola, a Bluetooth je standardiziran kao IEEE 802.15.1 protokol koji predstavlja bežičnu PAN (eng. *Personal Area Network*) mrežu namijenjenu korištenju u prostoru veličine prostorije ili dvorane.

Bluetoothom upravlja posebna neprofitna organizacija osnovana 1998. godine - Bluetooth SIG (eng. *Bluetooth Special Interest Group*) koja nadzire razvoj Bluetooth standarda, postavlja pravila za licenciranje Bluetooth tehnologija te štiti logo. Bluetooth SIG trenutno ima više od 35.000 članova koje čine tvrtke diljem svijeta koje se bave područjem telekomunikacija, elektronike, računalstva i mrežnih usluga, a neke od najznačajnijih takvih kompanija su Ericsson, IBM, Intel, Toshiba, Nokia, Microsoft, Lenovo i Apple. Sami naziv "Bluetooth" predložio je Jim Kardach iz Intela, jedan od osnivača Bluetooth SIG-a. Naziv je anglicizirana verzija staronordijske riječi "Blátǫnn" koja je bila epitet danskom kralju Haraldu Blaatandu (u prijevodu „Modrozub“) koji je ujedinio sva danska i norveška plemena u jedno kraljevstvo. Kardach je izabrao ime "Bluetooth" kojim je htio implicirati slično ujedinjenje komunikacijskih protokola. Naziv je prvotno trebao služiti samo kao rezervno ime dok marketinški odjel ne smisli bolji naziv, no tijekom vremena ozbiljniji nazivi poput "RadioWire" ili "PAN" su već davali preko desetak tisuća rezultata prilikom pretraživanja interneta te je tako ime "Bluetooth" preostalo kao jedini izbor koji se vrlo brzo proširio unutar industrije i postao sinonim za bežičnu tehnologiju kratkog dometa.

#### **3.1. Bluetooth protokoli**

Bluetooth koristi mnoge protokole, koje također definira organizacija Bluetooth SIG. Protokoli se mogu podijeliti u četiri kategorije, a to su: jezgreni protokoli, protokoli za zamjenu kabela, protokoli za nadzor telefonije te preuzeti protokoli. [5]

##### **3.1.1. Jezgreni protokoli**

Bluetooth radijski (Radio) protokol, Baseband, LMP, HCI, L2CAP i SDP čine skupinu jezgrenih protokola, te je svaki od njih pobliže opisan u nastavku.

Bluetooth Radio je protokol fizičkog sloja kojim se ostvaruje komunikacija između uređaja. Uređaji komuniciraju u nelicenciranom 2,4 GHz (2400 - 2483,5 MHz) ISM (eng. *Industrial, Scientific, and Medical*) frekvencijskom pojasu podijeljenom u 79 kanala, svaki širine 1 MHz. Primjenjuje se komunikacija u proširenom pojasu sa skokovitom promjenom prijenosne frekvencije ili FHSS (eng. *Frequency-hopping spread spectrum*) koja omogućuje izbjegavanje preklapanja s drugim uređajima ili mrežama. Do skokova dolazi 1600 puta u sekundi, što znači da svaki uređaj mijenja svoju prijenosnu frekvenciju 1600 puta u sekundi. Prema tome, uređaj zapravo koristi jednu istu frekvenciju tek 625  $\mu$ s (1/1600 s) prije nego počne koristiti drugu frekvenciju. Time se uređajima omogućuje komunikacija i u područjima gdje postoji veća elektromagnetska smetnja ili interferencija (koju može uzrokovati WLAN (eng. *wireless Local Area Network*), mikrovalna pećnica ili neki drugi izvor).

Baseband rješava radijsku vezu između dva uređaja. Predviđene su dvije mogućnosti, sinkrona i asinkrona. Sinkrona veza je spojno orijentirana veza koja se koristi kada je izbjegavanje kašnjenja prijenosa podataka važnije od samog integriteta podataka, što znači da prilikom prijenosa može doći do promjene ili oštećenja podataka i primljeni paket podataka se ne šalje ponovno. Takva veza je prikladna za prijenos govora. Suprotno, asinkrona veza je nespojna veza koja se koristi kada je integritet podataka važniji od kašnjenja prijenosa tih podataka te, ukoliko dođe do oštećenja, podaci se šalju ponovno.

LMP (eng. *Link management protocol*) protokol se koristi za nadzor i uspostavu svih aspekata bežične veze između dva uređaja. To uključuje uspostavu i nadzor logičke veze, kao i provjeru fizičke veze. Sadrži podatkovne protokolne jedinice (eng. *Protocol Data Units*) koje nose informacije o nadzoru veze, sigurnosti, zahtjevima, načinu rada, logičkom prijenosu te o ispitivanju.

HCI (eng. *Host / Controller Interface*) je standardizirana komunikacija između upravljačkih i poslužiteljskih slojeva. Postoji nekoliko različitih HCI transportnih slojeva, a svaki od njih koristi drugo sučelje za prijenos istih naredbi, događaja i podataka. Obično se koriste tehnologije USB (eng. *Universal Serial Bus*) kod osobnih računala te UART (eng. *Universal asynchronous receiver / transmitter*) kod mobilnih uređaja.

L2CAP (eng. *Logical Link Control & Adaptation Protocol*) služi za nadzor veze i prilagodbu višim protokolima te ima specifične zadaće dijeljenja, segmentiranja i sastavljanja paketa, multipleksiranja i održavanja razine kvalitete usluge.



SDP (eng. *Service Discovery Protocol*) omogućuje uređajima otkrivanje usluga koje podržavaju drugi uređaji kao i parametara potrebnih za povezivanje s njima. Svaka usluga označena je s jedinstvenom UUID (eng. *Universally Unique Identifier*) oznakom. [5]

### **3.1.2. Protokol za emulaciju serijskih priključaka**

RFCOMM (eng. *Radio frequency communication*) pruža emulaciju serijskih priključaka preko L2CAP protokola. Radi se o jednostavnom transportnom protokolu koji podržava do 60 istovremenih veza između dva uređaja. Pruža stvarni prijenos niza podataka, a koriste ga mnogi Bluetooth programi zbog široke podrške (uporaba u pisačima, modemima i računalima). [5]

### **3.1.3. Protokoli za nadzor telefonije**

Za nadzor telefonije koristi se TSC BIN (eng. *Telephony control protocol-binary*) protokol koji definira signalizaciju poziva za uspostave prijenosa govora i podataka između Bluetooth uređaja te dodatno definira procedure upravljanja pokretljivošću uređaja. AT commands čini skupina sučelja za komunikaciju s vanjskim aplikacijskim slojem. [5]

### **3.1.4. Preuzeti protokoli**

Neki od preuzetih protokola su PPP, UDP, TCP, IP, WAP, vCARD i OBEX, koji su u kratko opisani u nastavku.

PPP (eng. *Point-to-Point Protocol*) je standardni internetski protokol za prijenos IP datagrama preko „point-to-point“ veze.

UDP (eng. *User Datagram Protocol*) je protokol koji omogućuje prijenos IP datagrama kroz internetsku mrežu bez potrebe za uspostavom kanala.

TCP (eng. *Transmission Control Protocol*) je protokol koji omogućuje prijenos niza podataka uz provjeru toka podataka, veličine segmenata i brzine prijenosa.

IP (eng. *Internet Protocol*) je osnovni protokol koji omogućuje prijenos datagrama preko mreže pomoću adresa odredišnih čvorova.

WAP (eng. *Wireless Application Protocol*) je otvoreni standard koji korisnicima mobilnih telefona omogućuje uporabu telefonskih i informacijskih usluga.

vCard, također poznato kao VCF (eng. *Virtual Contact File*) predstavlja jedan od formata sadržaja, elektronička je podsjetnica.

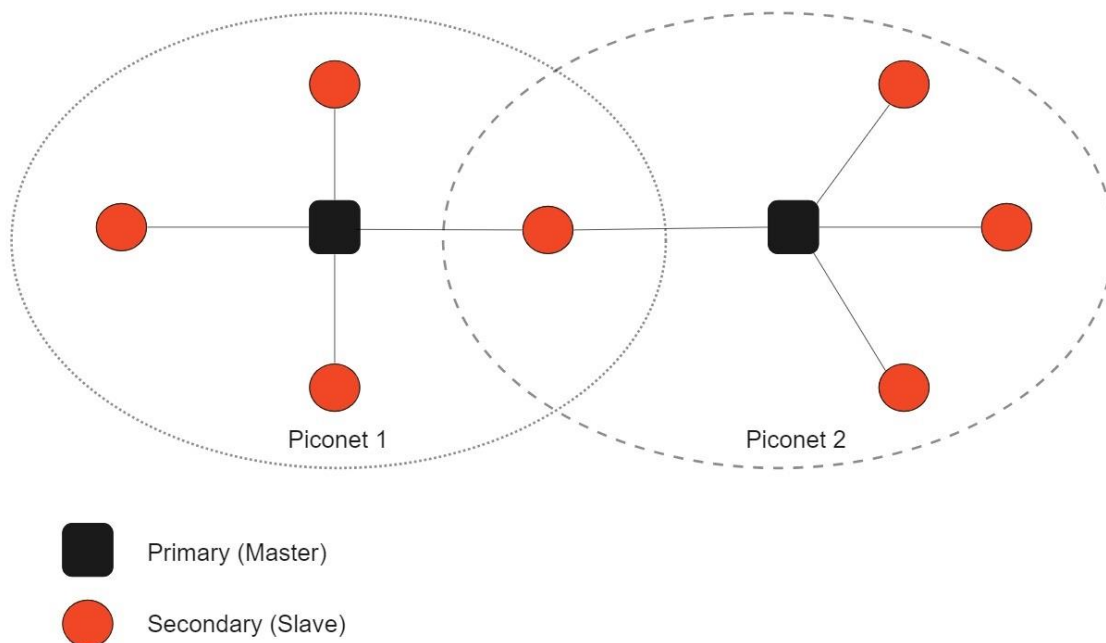
OBEX (eng. *Object Exchange Protocol*) je protokol prijenosa koji olakšava razmjenu binarnih objekata između Bluetooth uređaja na učinkovit način. Razvila ga je udruga IrDA (eng. *Infrared Data Association*) za jednostavnu i spontanu izmjenu objekata u modelu

klijent – poslužitelj. U općem obliku radi se o pojednostavljenoj inačici HTTP (eng. *Hypertext Transfer Protocol*) protokola. [5]

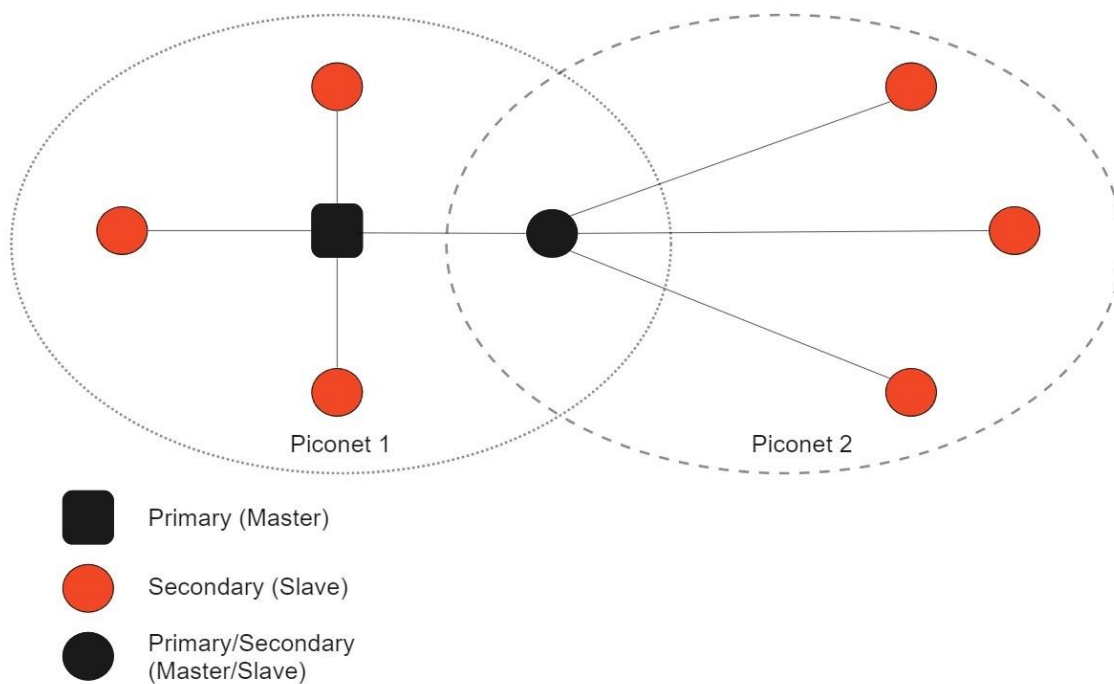
### 3.2. Bluetooth arhitektura

Zbog male snage odašiljanja signala, Bluetooth je tehnologija kratkog dometa. Prvenstveno je zamišljeno da se signal može slati i primiti samo na udaljenosti do 10 m, no razvojem tehnologije i korištenjem pojačala, udaljenost se može povećati i do 100 m ovisno o snazi odašiljača i mogućnostima uređaja. Bluetooth kao bežična LAN (eng. *Local Area Network*) tehnologija stvara *ad hoc* mrežu, što znači da se uređaji unutar nje povezuju spontano, tj. uređaji unutar dometa se međusobno pronalaze i tako formiraju malu mrežu zvanu pikonet (eng. *piconet*). U jedan pikonet može se povezati do maksimalno osam uređaja, od kojih je jedan primarni koji se još naziva i “master” uređaj, dok su ostali sekundarni uređaji ili “robovi” (eng. *slaves*). U jednom pikonetu može postojati samo jedan primarni uređaj. Mreža funkcionira tako da se svi sekundarni uređaji sinkroniziraju sa primarnim, dakle usklađuju svoje satove i sekvence skokova frekvencije s primarnim uređajem. Komunikacija između primarnih i sekundarnih postaja može biti jedan na jedan ili jedan na više, tj. primarni uređaj može komunicirati i s više sekundarnih uređaja istovremeno. Iako pikonet može sadržavati maksimalno sedam aktivnih sekundarnih uređaja, unutar njega također mogu postojati i dodatni uređaji koji se nalaze u parkirnom stanju. Takvi sekundarni uređaji sinkronizirani su s primarnim, ali bez mogućnosti međusobne komunikacije sve dok se iz parkirnog stanja ne prebace u aktivno stanje. U tom slučaju, aktiviranje jednog uređaja iz parkirnog stanja povlači da se neki aktivni uređaj mora prebaciti u parkirno stanje zbog toga što unutar pikoneta može istovremeno postojati najviše osam aktivnih uređaja. Moguće je povezati više pikoneta u jednu veću mrežu koja se tada naziva skaternet (eng. *scatternet*). [6] Slika 3. prikazuje jednostavan skaternet u kojemu jedan uređaj istovremeno komunicira s dva različita primarna uređaja koja se nalaze unutar dometa. Taj spojni uređaj se ponaša kao sekundarni u oba pikoneta. Takvo povezivanje naziva se *slave-slave* most. Također, sekundarni uređaj jednog pikoneta može biti primarni uređaj drugog pikoneta stvarajući tako zvanu *Master-Slave* vezu prikazanu na slici 3. U tom slučaju, uređaj može primiti podatke od primarnog uređaja prvog pikoneta ponašajući se kao sekundarni, te istovremeno ponašajući se kao primarni uređaj, slati dobivene podatke sekundarnim uređajima u drugom pikonetu. Uređaj koji je član dva ili više pikoneta prati obrasce frekvencijskih skakanja svakog pikoneta i ponekad prati točnu frekvenciju svakoga kako bi mogao ostati u komunikaciji. Master uređaj, s vremena na vrijeme, šalje pakete svojim sekundarnim uređajima kako bi održao vezu, na

temelju dogovora između njih. Stoga, uređaj koji je član više piconeta mora pratiti takve prijenose (ili ih raditi ako je on master uređaj u jednom piconetu) unutar vremenskog okvira koji je dogovoren za svaki piconet kojemu pripada. Skaternet može sadržavati do 10 piconeta pa je moguće napraviti mrežu od 80 uređaja. Ako je jedan uređaj član svih 10 piconeta, brzina prijenosa podataka će pasti za maksimalno oko 10%. [6], [7]



Slika 2. Formiranje skaternet mreže pomoću Slave-Slave veze



Slika 3. Formiranje skaternet mreže pomoću Master-Slave veze

### **3.3. Prednosti Bluetooth tehnologije**

U današnje vrijeme gotovo ne postoji komunikacijski uređaj koji nije opremljen Bluetooth tehnologijom pa sama mnogobrojnost uređaja i dostupnost Bluetootha postaje velika prednost. Broj Bluetooth uređaja i dalje raste te se sve više radi na kompatibilnosti različitih uređaja i platformi, te implementaciji Bluetootha u IoT, time omogućujući ljudima da žive i rade lakše, brže i pametnije. Bluetooth komunikacijski protokol je standard kratkog dometa, a za osnovnu komunikaciju dovoljno je da uređaj bude unutar dometa i da mu je opcija vidljivosti uključena. Svaki Bluetooth uređaj ima svoju jedinstvenu MAC adresu koja se može otkriti koristeći protokol za prepoznavanje. Pomoću MAC adrese je moguće ustanoviti ime i klasu uređaja, te njegove tehničke informacije, no za prijenos drugih konkretnijih podataka potrebno je upariti uređaje i ručno autorizirati konekciju PIN-om (eng. *Personal Identification Number*) ili lozinkom što je bitno iz aspekta sigurnosti. Još jedna prednost Bluetootha je da nikakvi posebni softveri i nadogradnje uređaja nisu potrebni da bi se ostvarila komunikacija, već je dovoljno da kompatibilni Bluetooth uređaj bude vidljiv, povezan i unutar dometa (u iznimnim slučajevima ako uređaj nije opremljen Bluetoothom, npr. stolno računalo, on se može nadograditi hardwareom koji dolazi u obliku malog USB priključka). To Bluetooth čini pogodnom tehnologijom za detekciju uređaja, praćenje i nadzor prometa, uz činjenicu da je sama cijena Bluetootha i njegova implementacija u prometnu infrastrukturu niža od ostalih tehnologija sličnih namjena za prikupljenje podataka o prometnoj mreži.

Od prve inačice Bluetootha neprestano se radi na njegovim poboljšanjima, te je sa lansiranjem inačice Bluetooth 4.0 na tržište 2011. godine predstavljen i BLE (eng. *Bluetooth Low Energy*), kojim je energija potrebna za spajanje Bluetoothom postala gotovo zanemariva. S većom uštedom energije, produljuje se rad uređaja opremljenih manjim baterijama i time je komunikacija putem Bluetootha idealna za manje prijenosne uređaje, detektore i nosive tehnologije te sami koncept ITS-a.

### **3.4. Nedostaci Bluetooth tehnologije**

Kao što je napomenuto već ranije u ovome radu, Bluetooth je tehnologija kratkog dometa što se s jedne strane može smatrati nedostatkom. Domet Bluetootha ovisi o klasi odašiljača uređaja, te specifično postoje tri klase. Odašiljači klase 1 rade na udaljenosti 20 do 30 m za komercijalnu uporabu te do 100 m za industrijsku uporabu, dok odašiljači klase 2 imaju domet do najviše 10 m. Odašiljači klase 3 rade na udaljenosti od nekoliko metara. Energetska učinkovitost također ovisi o klasi odašiljača, za funkcionalan rad i komunikaciju

na većoj udaljenosti potrebna je i veća snaga odašiljača. Povezani uređaji mogu održavati vezu samo unutar definiranog dometa, u suprotnom dolazi do pucanja veze. S obzirom na navedena ograničenja, Bluetooth ima veći domet od NFC (eng. *Near Field Communication*) tehnologije, no ne može konkurirati Wi-Fi vezi, no s druge strane komunikacijska tehnologija Bluetooth nije niti osmišljena kao zamjena za Wi-Fi. [8]

Veći nedostatak Bluetootha je znatno manja brzina slanja i prijena podataka u odnosu na druge tehnologije. Starije inačice Bluetooth 3.0 i Bluetooth 4.0 u teoriji šalju podatke brzinom do 24 Mbit/s dok je brzina prijena putem Wi-Fi veze 250 Mbit/s. Žičana hardverska sučelja poput USB 3.0 rade brzinom 5 Gbit/s. To povlači da Bluetooth nije pogodan za prijenos većih datoteka pogotovo vremenski-osjetljivih audio/video zapisa ili višestrukih slika između uređaja. [8]

Često dolazi do problema kompatibilnosti i funkcionalnosti između uređaja različitih inačica Bluetooth tehnologije. Bluetooth 3.0 i 4.0 verzije su kompatibilne sa starijim inačicama, no BLE Bluetooth 4.0 nije, tj. niskoenergetske verzije Bluetootha nisu kompatibilne sa klasičnim Bluetoothom. [8]

Prilikom nabiranja nedostataka, potrebno je osvrnuti se i na aspekt sigurnosti i ranjivosti Bluetooth tehnologije. Ovisno o konfiguraciji uređaja, Bluetooth komunikacija može biti poprilično sigurna, no također uvijek može doći i do određenih propusta. Tijekom razvoja Bluetooth standarda uvedeni su brojni postupci i tehnologije kako bi se zaštitile komunikacije i prijenos podataka između Bluetooth uređaja. Glavne mjere za očuvanje sigurnosti su povjerljivost komunikacije, provjera autentičnosti i generiranje identifikacijskoga i sigurnog ključa. Sigurnost komunikacije, osim hardverskih komponenata i enkripcije, ovisi i o udaljenosti između dva uređaja, odnosno što je udaljenost veća, veća je opasnost da dođe do napada, zlouporabe podataka ili eksploatacije. Postoji nekoliko metoda napada kod Bluetooth tehnologije, najpoznatiji su: *Bluejacking*, *Bluesnarfing*, *Bluesniping*, *Bluebugging*, *Car Whisperer*.

*Bluejacking* je metoda slanja lažnih poruka preko Bluetooth standarda uređajima koji podržavaju Bluetooth tehnologiju. Lažne poruke su one koje nose primatelju nepotreban sadržaj, a služe u reklamne svrhe ili za ometanje korisnika. Napad se odvija slanjem vCard koji obično sadrži poruku u polju „name“, a prenosi se preko OBEX protokola [5].

*Bluesnarfing* je napad koji omogućuje neovlašteni pristup informacijama na uređaju preko Bluetooth veze. To podrazumijeva pristup kalendaru, listi kontakata, porukama

elektroničke pošte ili tekstualnim porukama, a na nekim uređajima i slikovnim te audio zapisima. Trenutno dostupni programi moraju dozvoliti povezivanje s drugim uređajima kako bi se omogućilo kopiranje sadržaja. Također napadač mora posjedovati odgovarajući program koji može ostvariti pristup uređaju [5].

*Bluesniping* se pojavio kao inačica Bluesnarfing napada, a označava jednostavno identificiranje uređaja koje podržavaju Bluetooth tehnologiju na većem rasponu nego je to dopušteno [5].

*Bluebugging* je oblik napada na Bluetooth uređaje koji je obično uzrokovan nedostatkom savjesnog ponašanja korisnika. Koristi se program koji omogućava zlonamjernim korisnicima da preuzmu nadzor nad žrtvinim telefonom. Drugim riječima, napadači mogu slušati razgovore korisnika u stvarnom vremenu. Dodatno, ovaj program omogućuje stvaranje programa za presretanje poziva kako bi napadač primio poziv umjesto svoje žrtve [5].

*Car Whisperer* je metoda koju koriste napadači kako bi hakirali *hands-free* Bluetooth uređaje unutar automobila u prolazu. Napadač koristi car whisperer za zadiranje u privatnost, prisluškivanje razgovora unutar automobila i eksploatacije dobivenih informacija u ilegalne svrhe. [9]

#### 4. Detekcija Bluetooth signala i klasifikacija prema vrsti prijevoznog sredstva

Bluetooth detektori za prikupljanje prometnih podataka postavljaju se na uzvišena mjesta uz prometnicu, npr. električne i rasvjetne stupove na visini od najmanje 5 m kako bi domet bio veći i kako bi područje detekcija pokrivalo jednu ili više prometnih traka, ovisno o potrebi. Glavne komponente Bluetooth sustava za prikupljanje podataka su BT primopredajnik koji šalje i prima informacije detektiranih BT uređaja, host računalo koje obrađuje dobivene podatke, antena koja omogućava povećanje ili smanjenje detekcijskih sposobnosti i dometa, te sustav napajanja, kućište i oprema za montiranje. Bluetooth detektor neprekidno pretražuje okolni prostor kako bi pronašao aktivne Bluetooth uređaje unutar dometa. Ako je detektirani BT uređaj u mogućnosti odgovoriti na poslani zahtjev detektora, on će kao povratnu informaciju detektoru poslati svoju jedinstvenu MAC adresu i sinkronizacijske podatke koji uključuju vremensku oznaku, kod tipa (klase) uređaja i snagu RSSI signala izraženu u decibelima u odnosu na jedan milivat (dBm). Tablica 1. prikazuje primjer zapisa BT detektora.

Vremenska oznaka originalno dolazi u Unix formatu i potrebno ju je pretvoriti u UTC (eng. *Universal Time Coordinated*) vremensku oznaku kako bi se prikupljeni podaci kasnije mogli lakše obraditi i analizirati. U slučaju višestruke detekcije istog uređaja unutar detekcijske zone, svaki zapis će se pohraniti zasebno sa odgovarajućom vremenskom oznakom.

Tablica 1. Primjer zapisa Bluetooth detektora

Vremenska oznaka UTC	Početak MAC adrese	MAC adresa	Kod tipa uređaja	Snaga [dBm]
2019-04-23 16:37:45	48:5a:b6	48:5a:b6:f0:a5:d8	3e010c	-73
2019-04-23 16:37:51	00:23:3d	00:23:3d:0e:57:3d	240408	-86
2019-04-23 16:37:56	b0:eb:57	b0:eb:57:7f:df:c3	5a020c	-81
2019-04-23 16:39:52	9c:8d:7c	9c:8d:7c:fa:80:f3	340408	-70
...	...	...	...	...

MAC adresa uređaja se obično sastoji od šest grupa od dvije heksadecimalne znamenke, od kojih prve tri grupe (početne šest znamenke) predstavljaju jedinstven identifikacijski broj proizvođača uređaja OUI (eng. *Organizationally Unique Identifier*).

Svaki uređaj proizveden od istog proizvođača ima identičnu OUI oznaku (primjer iz Tablice 1.: "b0:eb:57" predstavlja OUI tvrtke Huawei Technologies Co.). [10]

U nastavku su u kratko opisane tehničke komponente Bluetooth detektora i dodatne opreme koja se koristila za detekciju BT uređaja na postojećem cestovnom segmentu i dobivanja konkretnih zapisa i informacija putem MAC adrese.

#### 4.1. Specifikacije opreme za prikupljanje BT podataka

Glavna oprema korištena za prikupljanje Bluetooth podataka u sklopu izrade ovog rada sastoji se od dva DeepBlue R-model v2t senzora i DeepBlue Core softvera.

DeepBlue senzor, koji je prikazan na slici 4., ima mogućnost detektiranja Bluetooth ili bežičnog (Wi-Fi) signala na udaljenosti većoj od 500 m u otvorenom prostoru s osjetljivošću prijammnika od -104dB, te prepoznaje sve standarde BT inačica. Povezivanje je moguće preko Ethernet porta ili putem CDMA (eng. *Code Division Multiple Access*) ili GSM/3G mobilne mreže, a prikupljeni podaci se mogu slati na server preko FTP (eng. *File Transfer Protocol*), SSH (eng. *Secure Shell Protocol*) TCP sučelja ili pohranjivati direktno u memoriju senzora. Podaci se na senzoru mogu pohranjivati malo više od godinu dana s pretpostavkom da rade svakodnevno bez prestanka. Temperaturna osjetljivost, tj. područje odvijanja sigurnih operacija je u rasponu od -35° do +80° C. [11]



Slika 4. DeepBlue R-model v2t senzor [11]

DeepBlue Core je softver za interpretaciju podataka prikupljenih sa senzora. Dizajniran je kako bi generirao vrijeme putovanja, alarme zagušenja, brzinu, prosječno vrijeme u



detekcijskoj zoni senzora te odredišno-dolazišne matrice. Nudi niz različitih prometnih parametara koji su filtrirani iz sirovih podataka.

Za povećanje dometa korištena je L-com RE09P antena s pojačanjem od 8 dBi koju je moguće koristiti u zatvorenom, kao i u otvorenom prostoru. Antena radi u ISM frekvencijskom pojasu od 2.4 GHz, što uključuje IEEE 802.11b i 802.11g, Bluetooth, javne bežične pristupne točke i Wi-Fi. [12]

U ovom istraživanju je za napajanje korištena baterija sa solarnim sustavom napajanja bez eksternog izvora energije. Fotonaponski sustav sastoji se od solarnog panela i baterije, tj. jedinice za napajanje i kontrolera napajanja.

#### **4.2. Metode klasifikacije i problem identifikacije prijevoznog sredstva**

Za razliku od prikupljanja prometnih podataka sa autocesta ili brzih cesta gdje se promet temelji isključivo na motornim vozilima, najveći problem u urbanim sredinama predstavlja upravo identifikacija i klasifikacija detekcija prema vrsti prijevoznog sredstva kojima pripadaju. Zbog široke i svakodnevne uporabe različitih uređaja opremljenih Bluetoothom, u gradskoj prometnoj mreži je teže odrediti pripada li BT detekcija motornom vozilu (osobnom automobilu, autobusu ili motociklistu), biciklistu ili pješaku. Također, prilikom prikupljanja podataka pomoću Bluetooth detektora, a posebno kada ih je postavljeno više od jednoga uz prometnicu (kao što je slučaj u ovom istraživačkom radu), potrebno je uzeti u obzir i pogrešna očitavanja, tj. potrebno je filtrirati detekcije nevažećih vrijednosti i izdvojiti ih. Pogrešna ili nevažeća očitavanja moguća su iz više razloga, od kojih su najčešći sljedeći:

- zaustavljanja sudionika u prometu između BT detektora (kratka ili duga vremenska zaustavljanja)
- prolazak sudionika kroz detekcijsku zonu drugog BT detektora nakon duljeg zaobilaska ili skretanja s puta (uključujući i zaustavljanja)
- postojanje alternativnih modova putovanja između detektora (tramvaji, vlakovi itd.)
- postojanje alternativnih puteva koji se razlikuju od početno definiranog puta između dva BT detektora
- netipično ponašanje vozača i ostalih sudionika u prometu. [13]

Mogući su različiti pristupi klasificiranju Bluetooth detekcija. Neki od konvencionalnijih pristupa su klasifikacija statičkim rezanjem (eng. *cutoff*) i klasteriranje

(eng. *clustering*) podataka. Prilikom korištenja metode statičkog rezanja postavlja se fiksna donja i gornja granica potrebnog vremena putovanja za određenu vrstu prijevoznog sredstva. Sve detekcije i njihova promatrana vremena putovanja koja zadovoljavaju taj unaprijed definirani uvjet, tj. nalaze se unutar prihvatljivog intervala smatraju se valjanima. Te vremenske granice se obično određuju prema zadanom broju standardnih devijacija aritmetičkih sredina ili medijana. Nedostatak korištenja ove metode klasificiranja jest što se njome ne uzima u obzir varijabilnost vremena putovanja unutar dana, no daljnjim pročišćivanjem podataka i korištenjem algoritama za dinamično provjeravanje izvanrednih ili neuobičajenih vrijednosti mogu se postići bolji i točniji rezultati. [14]

Metoda klasteriranja je također često korištena u prometnim istraživanjima za rudarenje podataka i klasifikaciju detekcija. U principu, radi se o svrstavanju i grupiranju podataka u jedan skup, tj. klaster, tako da su podaci unutar njega slični ili nekim parametrom međusobno povezani te u isto vrijeme različiti ili nepovezani s podacima koji pripadaju drugim klasterima. [14]. Prema tome bi se, na primjer, detekcije s identičnom vremenskom oznakom i/ili snagom RSSI signala moglo svrstati u jednu grupu i donjeti zaključak da se nalaze unutar istog vozila. Metodom klasteriranja moguće je utvrditi radi li se o detekciji autobusa, kamiona ili automobila, općenito vozila koja u tom trenutku sadrže više Bluetooth uređaja ili prevoze više putnika koji istovremeno koriste uređaje s aktivnom Bluetooth vezom. DeepBlue Core softver ima opciju korištenja klaster algoritama za prepoznavanje takvih situacija, tj. od prikupljenih podataka “uči“ o uređajima koji putuju zajedno pa ih zatim prepoznaje kao jedan objekt.

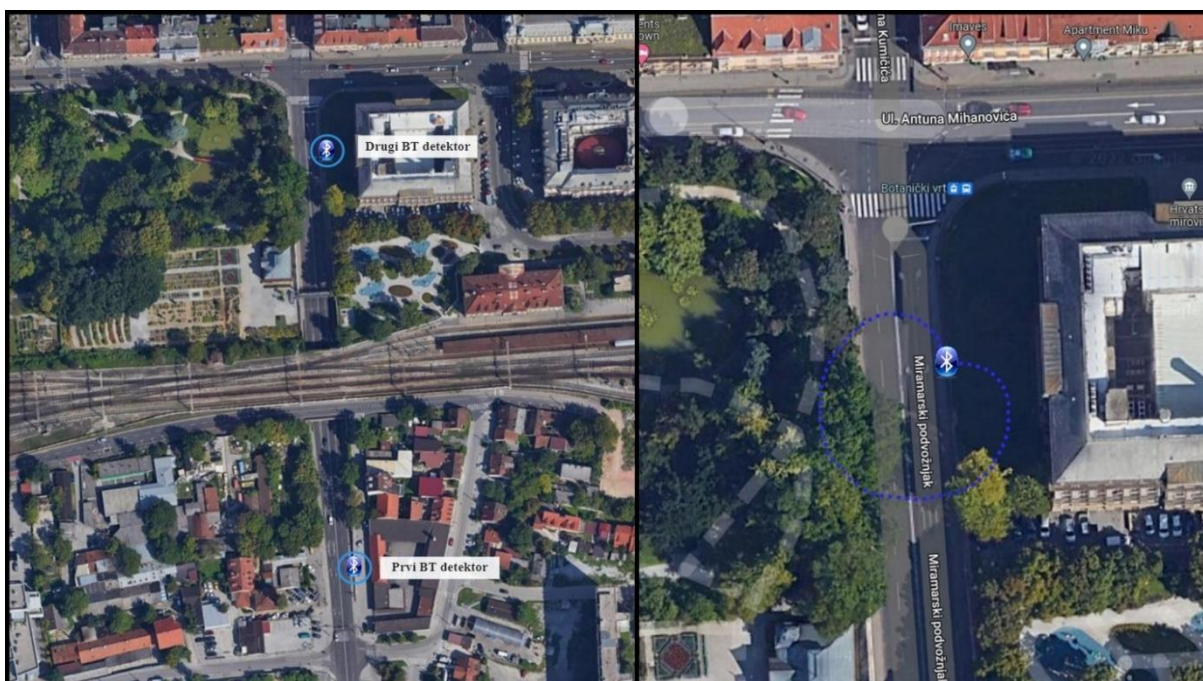
Klasifikacija prema početku MAC adrese (OUI-u) i tipu uređaja je prilično nepouzdana jer iako se velika većina proizvođača BT uređaja može pronaći, ne može se točno odrediti dolazi li uređaj od istog proizvođača kao i Bluetooth oprema u njemu, te da li se u automobilskoj Bluetooth opremi koriste dijelovi od proizvođača drugačije tehnologije, na primjer mobilnih telefona. Sličan je zaključak i za klasificiranje detekcija pomoću RSSI signala. Zbog varijabilnosti snage odašiljanja signala i poteškoća lociranja pozicije BT uređaja unutar detekcijske zone i određivanja njegove stvarne udaljenosti od BT detektora, kao i činjenice da kabina vozila može djelomično smanjiti snagu odašiljanja signala, RSSI parametar nije vjerodostojan za korištenje u analizama različitih modova putovanja u prometu.

Za lakše određivanje vrste prijevoznog sredstva, često se kombinira više različitih sustava za detektiranje sudionika u prometu. Za provođenje istraživanja o motornim vozilima, Bluetooth detektor je, na primjer, moguće kombinirati sa radarskom tehnologijom kako bi se dobio omjer broja BT detekcija i stvarnog broja prolaska vozila. Autori u [15] proveli su istraživanje koristeći Bluetooth tehnologiju u kombinaciji s videodetektorima. Bluetooth i video podaci prikupljeni su istovremeno na ulaznim i izlaznim lokacijama, te su zatim podaci MAC adresa i odgovarajućih vremenskih oznaka provjeravani i uspoređivani s video podacima u odgovarajućim vremenskim periodima kako bi se identificirala moguća klasa detektiranog objekta.

Metode čišćenja (filtriranje i ispravljanje) skupa podataka prikupljenih pomoću Bluetooth tehnologije su neophodne i različiti pristupi klasifikacijama prema modu putovanja nastavljaju biti predmet istraživanja s obzirom da posebnosti različitih prometnih mreža bitno utječu na točnost dobivenih podataka. Cilj ovoga rada je analizirati vrijeme putovanja vozila između dva Bluetooth detektora postavljena na cestovnom segmentu u urbanom okruženju.

## 5. Bluetooth sustav za detekciju vozila i mjerenje vremena putovanja

DeepBlue detektori za prikupljanje prometnih podataka u svrhu mjerenja vremena putovanja postavljeni su na sjevernoj i južnoj strani Miramarskog podvožnjaka u Zagrebu. Ta lokacija je izabrana zbog nepostojanja alternativnih ruta za motorna vozila, tj. pretpostavka je da vozilo koje prođe pored jednog Bluetooth detektora, mora proći i pored drugog. Detektori su postavljeni na visini od 5 m iznad prometnice kako bi se obuhvatile sve prometne trake i oba smjera prolaska vozila. Udaljenost između detektora je otprilike 250 m. Slika 5. prikazuje lokacije postavljenih BT detektora i radijus odašiljanja signala, tj. oblik detekcijske zone jednog detektora.



Slika 5. Lokacije BT detektora i oblik detekcijskog područja usmjerenog detektora

Na sljedećoj slici (slika 6.) je prikaz BT detektora i dodatne opreme izbliza, te je dodan i prikaz lokacije postavljenog BT detektora u odnosu na prometnicu.



Slika 6. Prikaz BT detektora i lokacija BT detektora u odnosu na prometnicu

Svrha ovog završnog rada je ispitati praktičnost i efikasnost Bluetooth detektora u prikupljanju podataka te mjerenje vremena putovanja na cestovnom segmentu. Općenito, vremenski uvjeti nemaju utjecaj na pozdanost i točnost rada Bluetooth detektora, no s obzirom na to da, u ovom slučaju, detektori koriste solarne panele kao sustav napajanja, moguća su neka ograničenja s obzirom na raspoloživost. Zbog nepovoljnih vremenskih uvjeta moguća su neka pogrešna očitavanja, ali ona ne bi trebala nepovoljno utjecati na statistiku dobivenih podataka i završnu analizu mjerenja.

Kao što je ranije navedeno, za mjerenje vremena putovanja i brzine potrebna su barem dva BT detektora postavljena uzduž iste rute. No korištenjem samo jednog BT detektora (kao *point* detektor) mogu se dobiti veličine poput broja pogodaka (eng. *Number of Hits*) i vremena zadržavanja unutar područja detekcije (eng. *Dwell time*). [16]

Ovisno o brzini prolaska uređaja ili vozila kroz detekcijsku zonu Bluetooth detektora i podešene frekvencije očitavanja, MAC adresa jednog uređaja može biti zapisana više puta. Svaka detekcija istog uređaja za vrijeme prolaska kroz područje detekcije naziva se pogodak.

Primjer višestrukih zapisa iste MAC adrese s različitim vremenskim oznakama prikazan je u tablici 2.

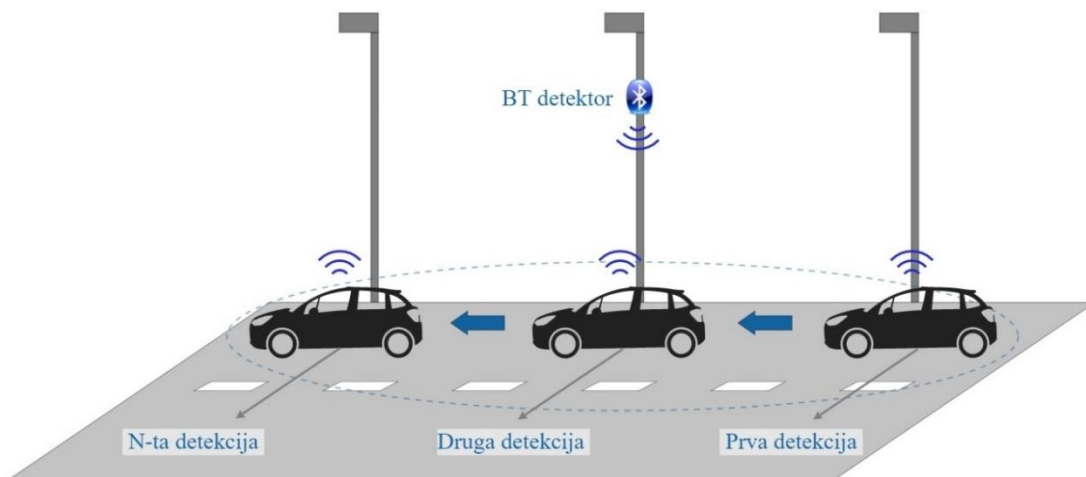
Tablica 2. Višestruki zapisi iste MAC adrese u detekcijskoj zoni

Unix vremenska oznaka	Početak MAC adrese (OUI)	MAC adresa	Tip uređaja	Snaga [dBm]	UTC vremenska oznaka
1558703388	00:00:01	00:00:01:18:8a:93	240408	-83	2019-05-24 15:09:48
1558703394	00:00:01	00:00:01:18:8a:93	240408	-85	2019-05-24 15:09:54
1558703404	00:00:01	00:00:01:18:8a:93	240408	-86	2019-05-24 15:10:04
1558703417	00:00:01	00:00:01:18:8a:93	240408	-86	2019-05-24 15:10:17
1558703429	00:00:01	00:00:01:18:8a:93	240408	-87	2019-05-24 15:10:29

Broj pogodaka ( $N_{\text{pogodci}}$ ) označava koliko puta je jedan uređaj detektiran putem jedinstvene MAC adrese u vremenu od ulaska u detekcijsku zonu do izlaska iz nje, te se računa prema sljedećoj formuli:

$$N_{\text{pogodci}} = \sum_{i=1}^N \text{MAC adresa}_i \text{ [pogodak]} \quad (1)$$

Na slici 7. je prikaz višestrukih detekcija jednog automobila koji prolazi kroz detekcijsko područje jednog Bluetooth detektora.



Slika 7. Prikaz uzastopnih očitavanja jednog vozila u zoni detekcije

Vrijeme zadržavanja ( $dwT$ ) je vrijeme potrebno jednom BT uređaju da bi prošao kroz detekcijsku zonu Bluetooth detektora. Vrijeme zadržavanja je definirano kao razlika vremena  $T$  između prve i posljednje zapisane detekcije uređaja i računa se prema formuli:

$$dwT = T_{\text{posljednji pogodak}} - T_{\text{prvi pogodak}} \text{ [s]} \quad (2)$$

Mjerenje vremena putovanja provodi se pomoću minimalno dva Bluetooth detektora, kao što je prethodno već navedeno. Metoda mjerenja je uzeti vrijeme prolaska uređaja pored jednog detektora i vrijeme prolaska uređaja pored drugog detektora, te se tada izračuna njihova razlika. Vrijeme prolaska uzima se iz zapisa vremenske oznake u UTC obliku, koja se dobiva uz podatke jedinstvene MAC adrese prilikom detekcije uređaja. Postoji više varijacija mjerenja vremena putovanja s obzirom koji pogodak unutar detekcijske zone BT detektora se uzima za izračun. Mogu se kombinirati i upariti prvi pogodci uređaja unutar detekcijske zone jednog detektora sa prvim pogodcima uređaja unutar detekcijske zone drugog detektora ili posljednji pogodci iz zone prvog detektora sa posljednjim pogodcima iz zone drugog detektora. Moguća je također, i metoda uparivanja prvih pogodaka iz zone prvog detektora sa posljednjima iz detekcijske zone drugog detektora i obratno. Za provedeno mjerenje i analizu vremena putovanja u ovome radu, korištena je prva navedena metoda.

Vrijeme putovanja  $T_p$  jednog detektiranog uređaja računa se prema formuli:

$$T_p = T_{2\_prvi \text{ pogodak}} - T_{1\_prvi \text{ pogodak}} \text{ [S]} \quad (3)$$

gdje  $T_{1\_prvi \text{ pogodak}}$  predstavlja vrijeme prve detekcije uređaja u detekcijskoj zoni prvog BT detektora, a  $T_{2\_prvi \text{ pogodak}}$  označava vrijeme prve detekcije uređaja u detekcijskoj zoni drugog BT detektora. Formula vrijedi za računanje vremena putovanja u jednome smjeru. Za mjerenje vremena putovanja u suprotnome smjeru, potrebno je samo zamijeniti poredak Bluetooth detektora u formuli, tj. računati razliku vremena od drugog postavljenog detektora prema prvom detektoru.

U analizi vremena putovanja koristit će se i veličine prosječnog vremena putovanja ( $T_{\text{prosijek}}$ ) i medijana vremena putovanja ( $T_{\text{medijan}}$ ).

Prosječno vrijeme putovanja (ili eng. *Mean* putovanja) dobiva se zbrojem svih pojedinačnih vremena putovanja  $T_i$  detektiranih uređaja, podijeljenog s brojem detektiranih uređaja  $k$ . Računa se prema formuli:

$$T_{\text{prosijek}} = \frac{\sum_{i=1}^k T_i}{k} \text{ [S]} \quad (4)$$

Medijan općenito predstavlja vrijednost srednje točke skupa podataka nakon raspoređivanja svih vrijednosti podataka u rastućem redoslijedu. Prema tome, medijan vremena putovanja ( $T_{\text{medijan}}$ ) je tačno iznos srednjeg vremena putovanja kad se sva dobivena

vremena putovanja poslože od najmanjeg do najvećeg. Medijan dijeli promatrane vrijednosti u dvije skupine, u skupinu (50%) vrijednosti višu i skupinu (50%) vrijednosti nižu od medijana. Za razliku od aritmetičke sredine koja je dobar pokazatelj kada se podaci ravnomjerno raspoređuju, medijani se koriste u iskrivljenim distribucijama i prikazuju podatke prilično bolje od prosjeka.



## 6. Mjerenje i analiza vremena putovanja pomoću razvijenog sustava na cestovnom segmentu

Podaci korišteni za analizu mjerenja putovanja prikupljeni su pomoću Bluetooth detektora tijekom travnja i svibnja 2019. godine. Zbog tehničkih poteškoća i nepovoljnih vremenskih uvjeta u pojedinim danima, nisu analizirani podaci svih ukupnih promatranih dana već je analiza napravljena s podacima prikupljenih za ponedjeljak (15.4.), utorak (16.4.), srijedu (17.4.), petak (24.5.) i subotu (25.5.). Sirovi podaci u navedenim datumima nedostaju ili su polovični, stoga nisu korišteni u analizi vremena putovanja.

Prikupljanje sirovih podataka direktno sa memorije BT detektora obavljalo se u dva navrata, 17. travnja i 25. svibnja. Broj ukupnih očitavanja sa svakog detektora prikazan je u tablici 3.

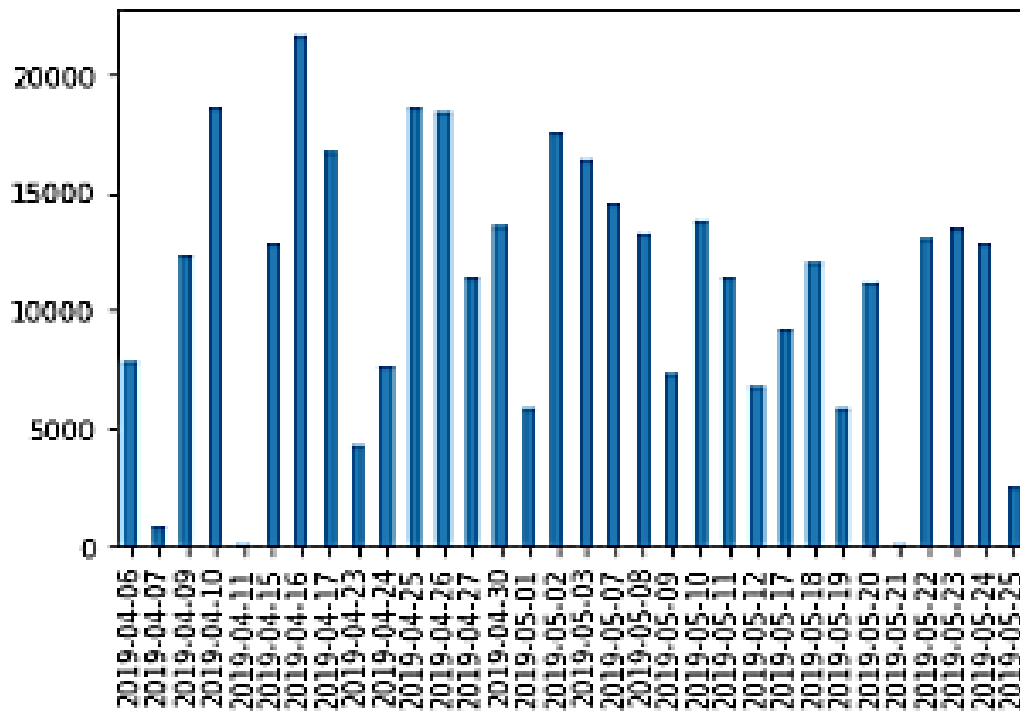
Tablica 3. Broj ukupnih detekcija

	Prvi detektor	Drugi detektor
Prikupljanje 17.04.	90.949	65.842
Prikupljanje 25.05.	260.729	29.664
Ukupno	351.678	95.506

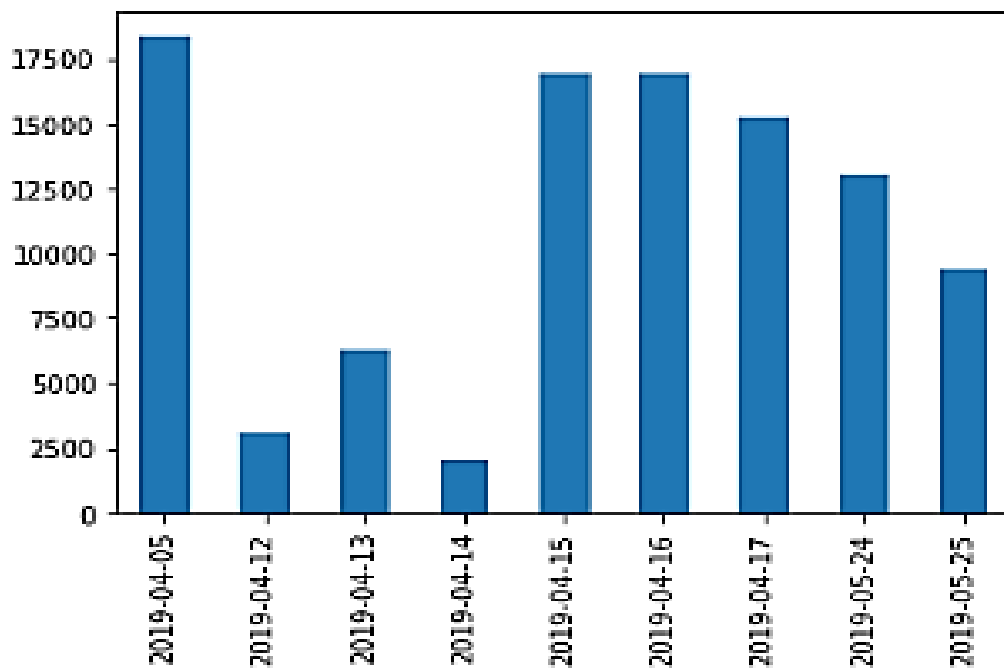
Razlozi tolike razlike u ukupnom broju zapisa detekcija su dijelom tehnički problemi koji utječu na raspoloživost detektora u pojedinim danima, a dijelom je razlog pozicija prvoga detektora. Naime, lokacija prvog detektora je u blizini raskrižja, kao i tramvajske trase i tramvajske stanice, stoga je logično da broj detekcija bude veći s obzirom na veći broj sudionika u prometu i korisnika javnog prijevoza koji ulaze u domet prvog BT detektora u odnosu na drugi BT detektor.

Prvi korak u filtriranju sirovih podataka jest izbaciti iz skupa podataka zapise detekcija koje ne odgovaraju formatu zapisa, one koje su neobičnog i nelogičnog formata, te se zatim Unix vremenska oznaka pretvara u UTC vremensku oznaku kako bi se lakše radilo s podacima. Nakon tako filtriranih podataka dobiva se ukupan broj detekcija po danima.

Grafikoni 1. i 2. daju prikaz broja detekcija po danima u pojedinom BT detektoru. Vidljivo je da za mnoge dane nedostaju podaci.

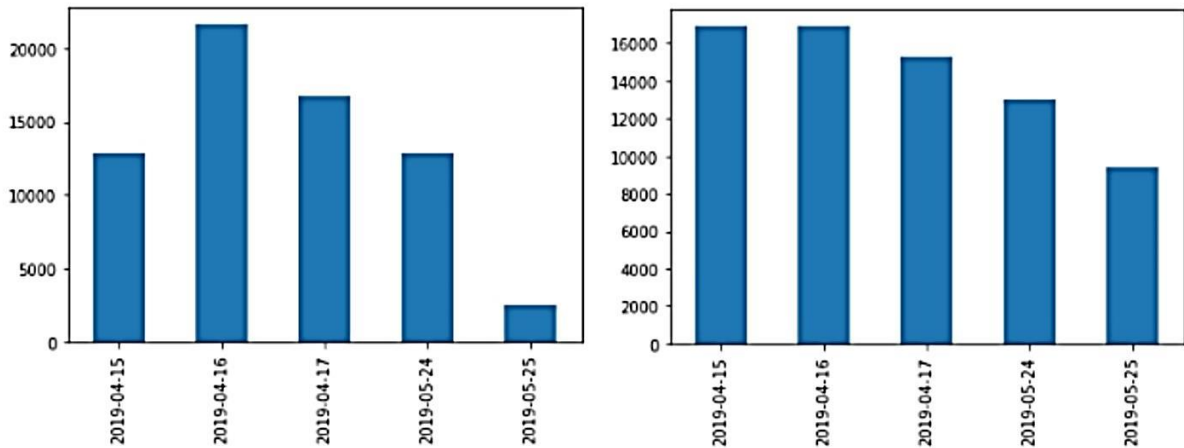


Grafikon 1. Broj detekcija prvog BT detektora po danima



Grafikon 2. Broj detekcija drugog BT detektora po danima

Presjek datuma za koje se može mjeriti vrijeme putovanja, tj. datumi za koje postoje podaci prikupljeni s oba detektora su 15.4., 16.4., 17.4., 24.5. i 25.5. (Grafikon 3).



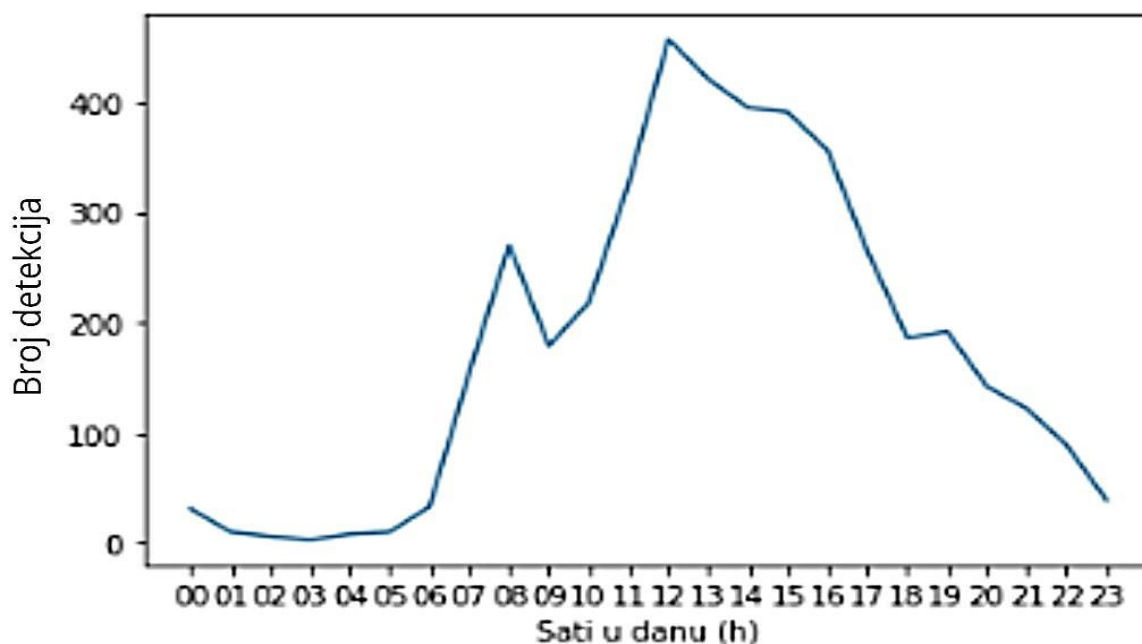
Grafikon 3. Broj detekcija prvog i drugog BT detektora u danima presjeka

Za mjerenje vremena putovanja korištena su dva Bluetooth detektora uz uvjet da vozilo mora proći kroz detekcijske zone oba detektora. Filtar je postavljen s pretpostavkom da vozilima nije potrebno više od tri minute da prođu kroz jednu detekcijsku zonu, u suprotnom radi se o pješacima. Također, uređaji kojima je vrijeme zadržavanja veće od 5 minuta smatraju se statičkima, no ako se zaista radi o statičkim uređajima oni u svakom slučaju neće biti detektirani u obje detekcijske zone, već samo unutar jedne, te se time svakako izbacuju iz analize.

Pošto postoji više detekcija istog uređaja, tj. zapisa iste MAC adrese unutar područja detekcije, za izračun vremena putovanja korištena je metoda prvih pogodaka. Uzima se vrijeme prvog očitavanja uređaja prilikom ulaska u detekcijsku zonu prvog detektora i vrijeme prvog očitavanja uređaja prilikom ulaska u detekcijsku zonu drugog detektora, te se zatim računa njihova razlika.

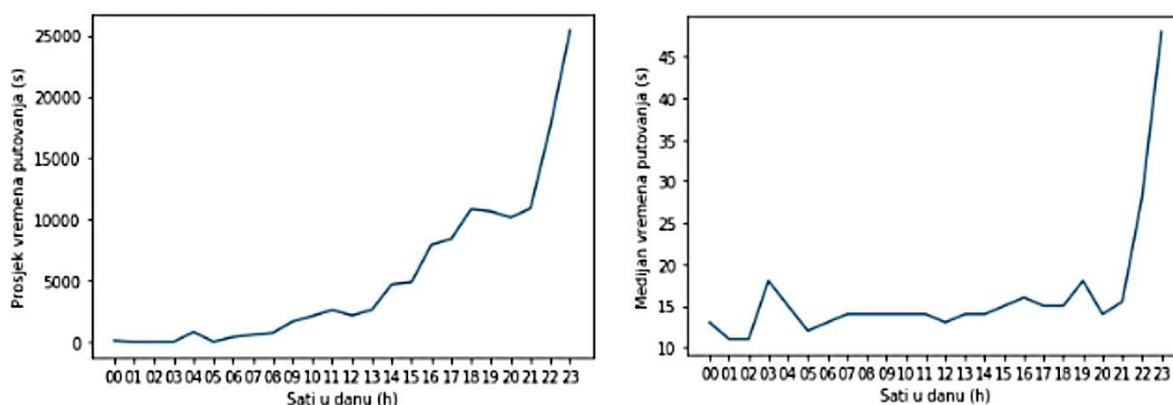
Nakon filtriranja podataka dobiven je ukupan broj 12.014 prolazaka vozila u oba smjera tijekom pet promatranih dana. Od toga je detektirano 4.304 prolazaka u smjeru sjever-jug i 7.710 prolazaka u smjeru jug-sjever. Smjer kretanja je određen prema tome na kojem detektoru je vozilo prvi put detektirano.

Na grafikonu 4. prikazan je ukupni broja detekcija vozila po satima u danu za smjer kretanja sjever-jug. Broj detektiranih uređaja raste u vrijeme odlaska ljudi na posao, od 6h do 8h ujutro, zatim se sljedećih sat vremena smanjuje, te ponovno počinje rasti i doseže lokalni maksimum oko podneva. U noćnim satima detektiran je mali broj prolazaka vozila.



Grafikon 4. Broj detekcija po satima u smjeru sjever-jug

Grafikon 5. prikazuje prosjek vremena putovanja i medijan vremena putovanja po satima u danu, za vozila koja se kreću u smjeru sjever-jug.

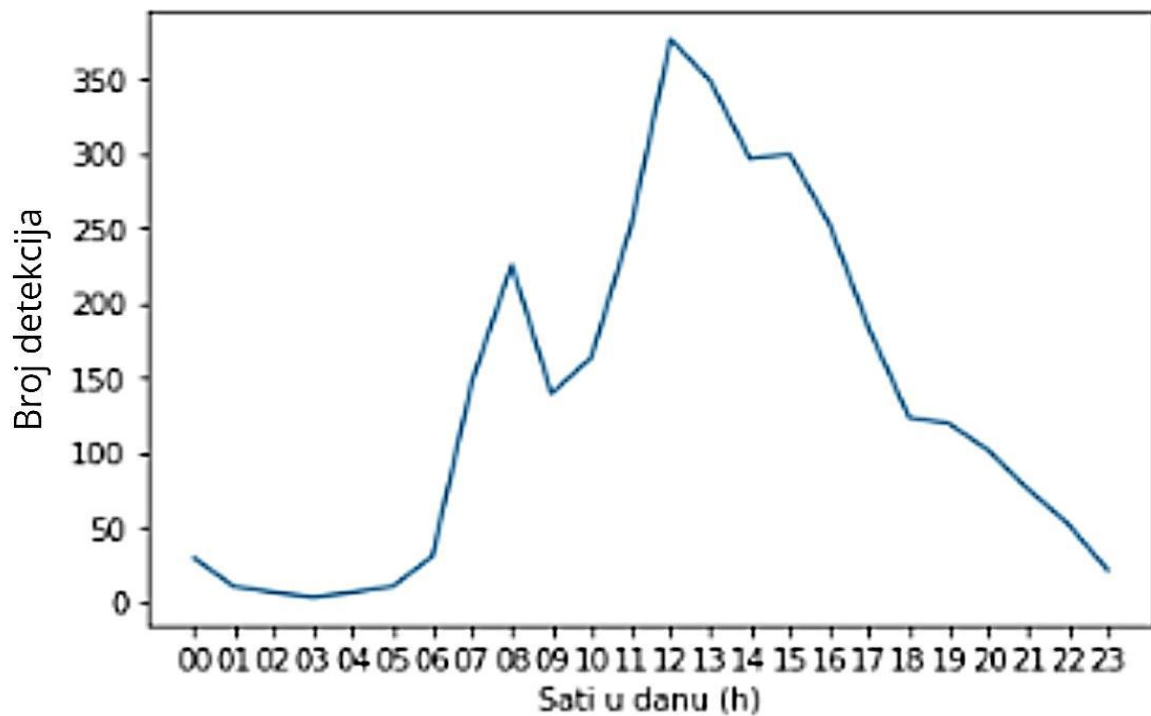


Grafikon 5. Prosjeck i medijan vremena putovanja po satima u smjeru sjever-jug

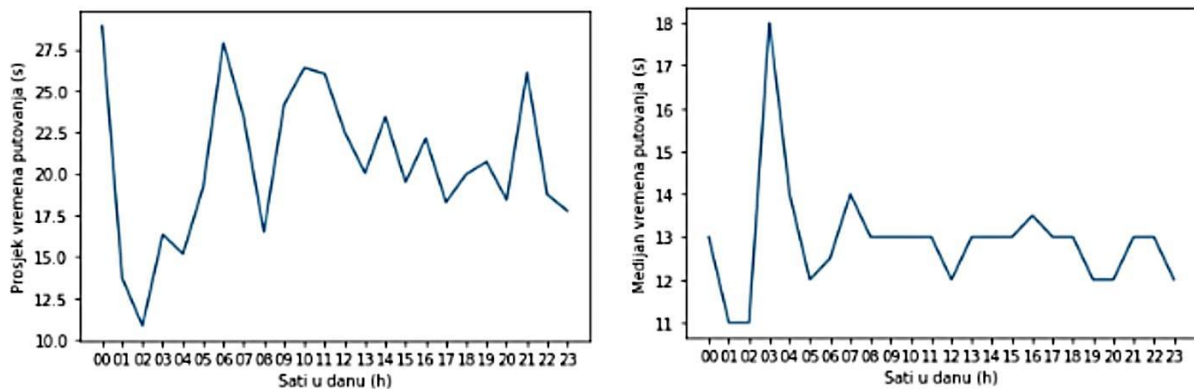
Iz grafikona 5. je vidljivo da se prosjeck i medijan vremena putovanja dosta razlikuju. Prosječno vrijeme putovanja ako se gleda cijeli dan iznosi 1.590 sekundi, što je 26,5 minuta, dok medijan iznosi samo 17 sekundi. Do takvih razlika dolazi zbog neobičnih vrijednosti u večernjim satima (nakon 21h), gdje prosjeck vremena putovanja prelazi 20.000 sekundi (više od 5,5h), a medijan raste na preko 40 sekundi. Takvi iznosi su mogući zbog ekstremnih vrijednosti (*outliers*), tj. određenog broja detekcija izvanrednih situacija i vrijednosti ili pogrešnih detekcija. Iz grafikona 4. vidljivo je da je oko 21h sveukupno zabilježen mali broj prolazaka vozila, a broj se u narednim satima još više smanjuje. Ekstremna vrijednost može biti, na primjer, vozilo koje je detektirano prvim BT detektorom u 21h, ali je promjenilo rutu

ili se zaustavilo u međuvremenu i prošlo detekcijskom zonom drugog detektora tek sljedeće jutro oko 7h, pa je time zabilježena razlika od ukupno 10h između njegovih detekcija. S obzirom na mali broj ukupnog broja prolaska vozila kroz noćne sate, takve izvanredne situacije uvelike utječu na iznose vrijednosti prosjeka i medijana vremena putovanja.

Kako bi se iz promatranja odbacio što veći broj ekstremnih vrijednosti, napravljena je i analiza ograničenog vremena putovanja. Grafikon 6. daje prikaz broja detektiranih vozila po satima s uvjetom da je vozilo prošlo pored oba detektora u manje od 10 minuta.



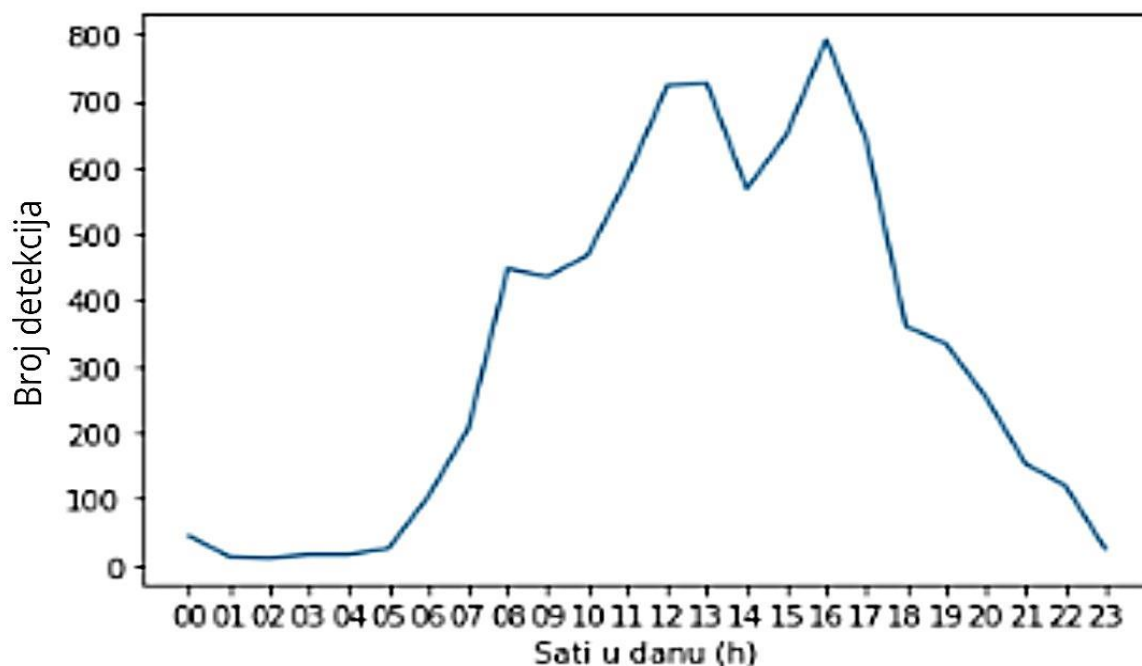
Grafikon 6. Broj detekcija po satima u smjeru sjever-jug uz uvjet 10 min



Grafikon 7. Prosjeck i medijan vremena putovanja po satima u smjeru sjever-jug uz uvjet 10 min

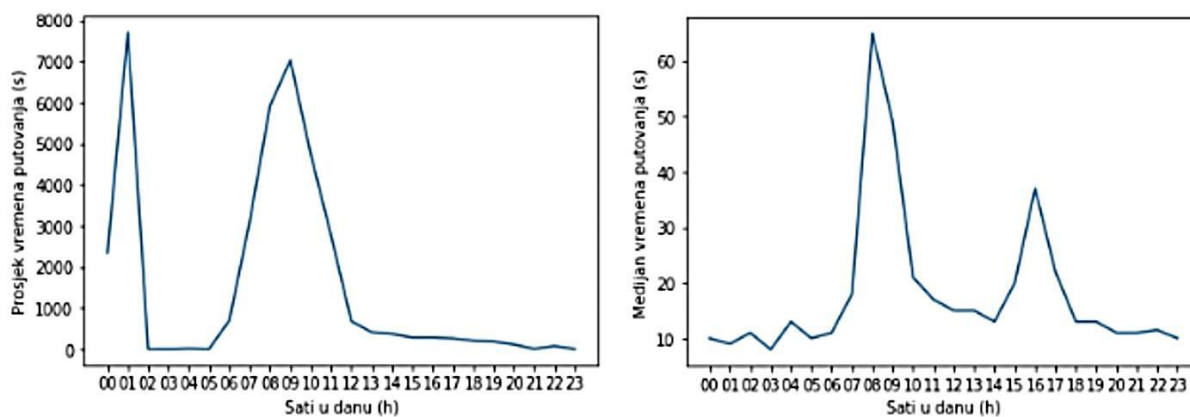
U ovome slučaju, iznosi prosjeka vremena putovanja značajno su se smanjili te su bitno sličniji iznosima medijana vremena putovanja (grafikon 7.). Prosječno vrijeme putovanja tijekom dana varira između 17 i 27 sekundi, dok je vrijednost medijana između 12 i 14 sekundi. Prema tome, može se zaključiti da nije bilo pretjerane gužve na promatranom segmentu prometnice u smjeru juga. Vrijednosti tijekom noćnih sati ponovno odskaču, ali je također (prema grafikonu 6.) zabilježen sveukupno mali broj prolaska vozila.

Analogno je napravljena analiza vremena putovanja vozila koja se kreću u suprotnom smjeru, od juga prema sjeveru. Broj detektiranih vozila po satima za smjer jug-sjever prikazan je grafikonom 8.



Grafikon 8. Broj detekcija po satima u smjeru jug-sjever

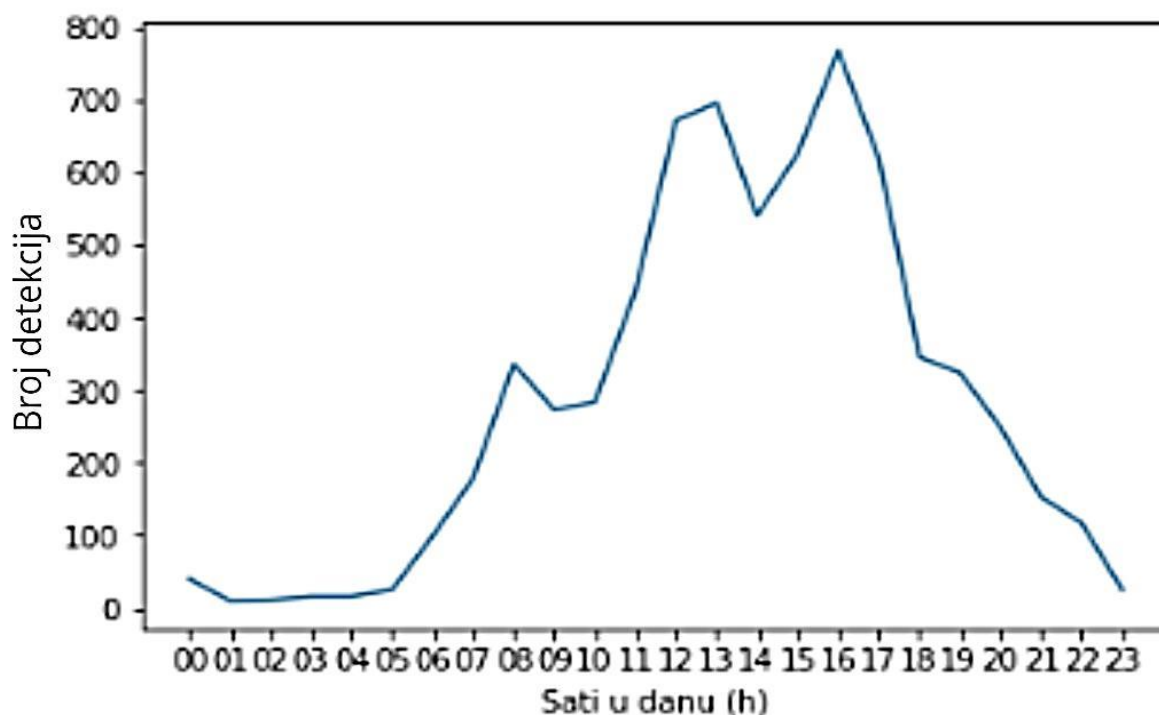
Tijekom noćnih sati zabilježen je mali broj detekcija. Broj detekcija počinje rasti oko 6h ujutro prilikom kretanja ljudi na posao, te kontinuirano raste sve do podneva, a zatim broj blago pada. Maksimalni broj detekcija u danu postiže se između 16h i 17h, što ima smisla jer se u to vrijeme ljudi vraćaju kući s posla.



Grafikon 9. Prosjek i medijan vremena putovanja po satima u smjeru jug-sjever

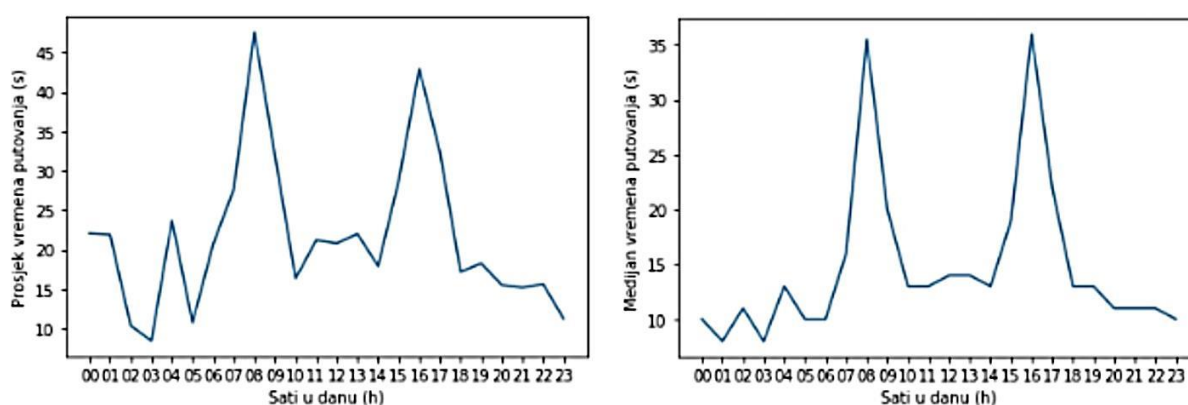
Iako se skokovi podudaraju u jutarnjim vršnim satima (grafikon 9.), ponovno se primjećuje velika razlika između iznosa prosječnog vremena putovanja i medijana vremena putovanja. Vidljiv je rast broja detektiranih uređaja ujutro od 6h do 9h (grafikon 8.), a u isto vrijeme prosjek vremena putovanja raste do maksimuma koji iznosi 7.000 sekundi, što bi značilo da je oko 9h prosječno vrijeme putovanja bilo skoro 2 sata da bi se prešao put od 250 metara. Medijan u tom periodu također raste do maksimuma, koji iznosi nešto malo više od jedne minute što je dosta razumnije. Na prikazu grafa medijana vidljivo je ponovno povećanje vremena putovanja oko 16h popodne, što se poklapa sa ponovnim rastom broja detektiranih vozila u to vrijeme. Vrijednosti medijana pokazuju točniju sliku stvarnog stanja jer ekstremne vrijednosti skoro ne utječu na njegov izračun, dok jako utječu na izračun prosjeka. Kada se uđe u dublju analizu podataka, u 9h je ukupno 435 detekcija, od toga njih 160 (36,78%) ima vrijeme putovanja iznad 1.000 sekundi, dok njih čak 117 iznad 10.000 sekundi, što je velik broj ekstremnih vrijednosti. U 16h ne postoji skok na grafu prosječnih vrijednosti. No analizirajući podatke, 792 je ukupnih detekcija, od kojih samo njih 20 ima vrijeme putovanja veće od 1.000 sekundi, te se zbog prikaza velikog raspona (ordinate sustava do 8.000), ne uočavaju skokovi. Iskrivljen prikaz prosječnih vrijednosti, može biti i posljedica detekcija statičnih MAC adresa iz okoline (TV-uređaja ili slično), a koje je detektor pogrešno identificirao. Iznosi medijana vremena putovanja tijekom dana variraju od 15 do 65 sekundi, te se može zaključiti da gužva na cesti u smjeru jug-sjever (prema centru grada) nastaje u vršnim satima od 7h do 9h prijepodne i oko 16h poslijepodne što se poklapa sa odlaskom ljudi na posao i povratka s posla. Prosjek vremena putovanja ponovno skače u noćnim satima (između 00h i 1h), a to se može, kao i u slučaju za suprotan smjer, pripisati ekstremnim vrijednostima, jer prema grafikonu 8. mali je broj detektiranih vozila na cesti u tim satima.

Slijedi analiza ograničenog vremena putovanja za smjer jug-sjever, uz uvjet da je vozilo prošlo pored oba detektora u manje od 10 minuta. Grafikon 10. prikazuje broj detektiranih vozila po satima uz desetominutni uvjet. Distribucija je ostala slična, osim što se neznatno smanjio broj detektiranih vozila oko 8h ujutro.



Grafikon 10. Broj detekcija po satima u smjeru jug-sjever uz uvjet 10 min

Grafikon 11. daje prikaz prosjeka i medijana vremena putovanja po satima uz uvjet da je detektirano vozilo prošlo pored oba BT detektora u manje od 10 min.



Grafikon 11. Prosječno i medijan vremena putovanja po satima u smjeru jug-sjever uz uvjet 10 min

Vidljivo je da je prosječno vrijeme putovanja sada relativno slično medijanu vremena putovanja. Od 7h do 8h ujutro prosječno vrijeme putovanja raste do 50 sekundi, te oko 16h



popodne do 45 sekundi, dok je medijan vremena putovanja u tim satima nešto manji, otprilike 35 sekundi. Veća odstupanja su ponovno u noćnim satima, između ponoći i 4h ujutro kada nije detektiran velik broj prolazaka vozila. Prema grafikonima 10. i 11. može se zaključiti da do gužve u smjeru sjevera (prema centru) i duljeg vremena putovanja dolazi u vršnim satima (između 7h i 8h ujutro), te ponovno oko 16h poslijepodne. No zanimljivo je da je u jutarnjim vršnim satima detektirano oko 350 vozila, poslijepodne u 16h oko 750 vozila, a medijan vremena putovanja iznosi 35 sekundi u oba termina. Oko podneva je detektirano oko 700 vozila, no prosječno vrijeme putovanja varira oko 20 sekundi, dok je medijan nešto manji, oko 15 sekundi.

## 7. Zaključak

Svrha provedenog istraživanja je ispitivanje efikasnosti i pouzdanosti Bluetooth tehnologije u funkciji prikupljanja prometnih podataka unutar gradske mreže i mjerenje vremena putovanja. Za izradu ovog završnog rada, prikupljeni su konkretni podaci iz prometa pomoću dva Bluetooth detektora postavljena uzduž Miramarskog podvožnjaka u Zagrebu. Provedena analiza vremena putovanja temelji se na prosječnim (*mean*) i medijan vrijednostima. Pokazalo se da zbog heterogenosti gradske prometne mreže i varijabilnosti vremena putovanja unutar dana, medijan vrijednosti vremena putovanja pokazuju točnije i smislenije rezultate. Interpretacijom rezultata pokazalo se da je vrijeme putovanja veće u vršnim satima, između 7h i 9h ujutro te između 16h i 17h poslijepodne. Pročišćavanje sirovih podataka i klasifikacija detektiranih uređaja predstavlja najveći problem prilikom korištenja Bluetooth tehnologije kao detektora za prikupljanje podataka iz prometa. Teško je procijeniti kakvi uvjeti, koji načini podešavanja filtara i koji markeri bi najtočnije izdvojili pojedine sudionike prometa prema modu putovanja jer recimo, motorno vozilo se u principu brže kreće od pješaka i biciklista, no u terminima prometnih zagušenja i gužvi, pješak i biciklist će se kroz prometnu mrežu kretati brže od automobila. Klasifikacija detektiranih Bluetooth uređaja može biti kompliciran proces i još uvijek ostaje predmet daljnjih istraživanja. U ovome radu, analiza je provedena nad relativno malim skupom podataka. Prikupljanjem više podataka kroz duži vremenski period, mogu se dobiti i bolji rezultati. No bez obzira na to, provedena analiza prometnih parametara dobivenih pomoću Bluetooth detektora daje korisne rezultate, te je zaključak da se Bluetooth tehnologija, zbog poprilično jeftine nabavne cijene i lake implementacije u prometnu infrastrukturu, može koristiti za mjerenje vremena putovanja, predviđanje gužvi i zauzeća prometnica, planiranje ruta putovanja i praćenja prometnih trendova.

## Literatura

- [1] Bošnjak, I. : INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI - ITS 1, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [2] Mimbela, L.U.Y.; Klein, L. A.: Summary Of Vehicle Detection And Surveillance Technologies Used In Intelligent Transportation Systems, Federal Highway Administration s (FHWA) Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, New Mexico State University, 2000.
- [3] Internetski izvor, dostupno na: <http://wimssystem.com.my/products.htm> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [4] Antoniou, C.; Balakrishna, R.; Koutsopoulos, H. N.: A synthesis of emerging data collection technologies and their impact on traffic management applications, European Transport Research Review, Vol. 3, p. 139-148, 2011.
- [5] Ranjivosti Bluetooth tehnologije, Nacionalni CERT, LS&S, 2009., dostupno na: <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2019/04/NCERT-PUBDOC-2009-11-281.pdf> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [6] Manaa, M. E.: Bluetooth, 4<sup>rd</sup> class-Department of Network, College of IT, University of Babylon, 2020.
- [7] Internetski izvor, dostupno na: <https://flylib.com/books/en/4.152.1.144/1/> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [8] Internetski izvor, dostupno na: <https://www.profolus.com/topics/advantages-and-disadvantages-of-bluetooth/> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [9] Internetski izvor, dostupno na: <https://www.thesecuritybuddy.com/bluetooth-security/what-is-car-whisperer/> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [10] Internetski izvor, dostupno na: <https://dnschecker.org/mac-lookup.php> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [11] Traffic Network Solutions S.L., Deep Blue V2t Sensor, Barcelona, 2019., dostupno na: <http://deepbluesensor.com/wp-content/datasheets/DeepBlue%20R-model.pdf> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [12] Internetski izvor, dostupno na: <https://www.l-com.com/wireless-antenna-24-ghz-8-dbi-flat-patch-antenna-4ft-sma-male-connector> [Pristupljeno: Ožujak 2022.]
- [13] Mitsakis E., Grau J.M.S., Chrysohoou E., Aifadopoulou G.: A robust method for real time estimation of travel times for dense urban road networks using Point-to-Point detectors, Centre for Research and Technology Hellas (CERTH), Hellenic Institute of Transport, Special Issue on Smart and Sustainable Transport, Vol. 30(3), p. 264-272, 2015.
- [14] Araghi B.N., Krishnan R., Lahrmann H.: Mode-Specific Travel Time Estimation Using Bluetooth Technology, Journal of Intelligent Transportation Systems, Vol. 20, No. 3, p. 219-228, 2015.

- [15]Erkan I., Hastemoglu H.: Bluetooth as a traffic sensor for stream travel time estimation under Bogazici Bosphorus conditions in Turkey, J. Mod. Transport, Vol. 24, No. 3, p. 207-214, 2016.
- [16]Cvetek D., Horenc I., Muštra M., Jelušić N. Analysis of Correlation between Dwell Time Measured using Bluetooth Detector and Occupancy, International Symposium ELMAR, p. 31-34, 2019.

## Popis slika

Slika 1. Shema obrade slike za detekciju, klasifikaciju i praćenje vozila [2] .....	5
Slika 2. Formiranje skaternet mreže pomoću Slave-Slave veze .....	12
Slika 3. Formiranje skaternet mreže pomoću Master-Slave veze .....	12
Slika 4. DeepBlue R-model v2t senzor [11] .....	17
Slika 5. Lokacije BT detektora i oblik detekcijskog područja usmjerenog detektora.....	21
Slika 6. Prikaz BT detektora i lokacija BT detektora u odnosu na prometnicu .....	22
Slika 7. Prikaz uzastopnih očitavanja jednog vozila u zoni detekcije .....	23

## Popis tablica

Tablica 1. Primjer zapisa Bluetooth detektora .....	16
Tablica 2. Višestruki zapisi iste MAC adrese u detekcijskoj zoni .....	23
Tablica 3. Broj ukupnih detekcija .....	26

## Popis grafikona

Grafikon 1. Broj detekcija prvog BT detektora po danima.....	27
Grafikon 2. Broj detekcija drugog BT detektora po danima.....	27
Grafikon 3. Broj detekcija prvog i drugog BT detektora u danima presjeka .....	28
Grafikon 4. Broj detekcija po satima u smjeru sjever-jug .....	29
Grafikon 5. Prosjek i medijan vremena putovanja po satima u smjeru sjever-jug.....	29
Grafikon 6. Broj detekcija po satima u smjeru sjever-jug uz uvjet 10 min.....	30
Grafikon 7. Prosjek i medijan vremena putovanja po satima u smjeru sjever-jug uz uvjet 10 min.....	30
Grafikon 8. Broj detekcija po satima u smjeru jug-sjever .....	31
Grafikon 9. Prosjek i medijan vremena putovanja po satima u smjeru jug-sjever.....	32
Grafikon 10. Broj detekcija po satima u smjeru jug-sjever uz uvjet 10 min.....	33
Grafikon 11. Prosjek i medijan vremena putovanja po satima u smjeru jug-sjever uz uvjet 10 min.....	33

## **Popis kratica**

AVI - Automated Vehicle Identification  
BLE - Bluetooth Low Energy  
BT - Bluetooth  
CCTV - Closed-circuit television  
CDMA - Code Division Multiple Access  
FHSS - Frequency-hopping spread spectrum  
FTP - File Transfer Protocol  
GLONASS - Global Navigation Satellite System  
GPS - Global Positioning Systems  
GSM - Global System for Mobile Communications  
HCI - Host / Controller Interface  
HTTP - Hypertext Transfer Protocol  
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers  
IoT - Internet of Things  
IP - Internet Protocol  
ISM - Industrial, Scientific and Medical  
ITS - Intelligent transportation systems  
L2CAP - Logical Link Control & Adaptation Protocol  
LAN - Local Area Network  
LIDAR - Light Detection and Ranging  
LMP - Link management protocol  
LTE - Long Term Evolution  
MAC - Media Acces Control  
NFC - Near Field Communication  
OBEX - Object Exchange Protocol  
OCR - Optical Character Recognition  
OUI - Organizationally Unique Identifier  
PAN - Personal Area Network  
PAW - Portable axle weighing  
PIN - Personal Identification Number  
PPP - Point-to-Point Protocol  
RFCOMM - Radio frequency communication  
RSSI - Received Signal Strength Indicator  
SDP - Service Discovery Protocol  
SIG - Special Interest Group  
SSH - Secure Shell Protocol

TCP - Transmission Control Protocol  
TSC BIN - Telephony control protocol-binary  
UART - Universal asynchronous receiver / transmitter  
UDP - User Datagram Protocol  
USB - Universal Serial Bus  
UTC - Universal Time Coordinated  
UUID - Universally Unique Identifier  
VCF - Virtual Contact File  
WAP - Wireless Application Protocol  
WIM - Weight-in-motion  
WLAN - Wireless Local Area Network

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

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

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Mjerenje vremena putovanja u cestovnom prometu primjenom Bluetooth tehnologije, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 18.04.2022.

Isabela Hronec

(ime i prezime, potpis)