

Ispitivanje razine i kvalitete signala bežične komunikacijske mreže u prometnom okruženju

Brdar, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:188633>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonio Brdar

ISPITIVANJE RAZINE I KVALITETE SIGNALA BEŽIČNE
KOMUNIKACIJSKE MREŽE U PROMETNOM OKRUŽENJU

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021.

Zagreb, 28. travnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Računalne mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6206

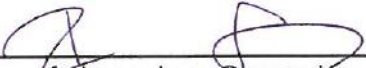
Pristupnik: **Antonio Brdar (0135242928)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Ispitivanje razine i kvalitete signala bežične komunikacijske mreže u prometnom okruženju**

Opis zadatka:

Objasniti značajke bežične komunikacijske mreže (Wi-Fi) u prometnom okruženju. Opisati elemente mrežne (Wi-Fi) infrastrukture. Identificirati programske alate za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže. Usporediti programske alate za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže. U praktičnom dijelu završnog rada napraviti ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u prometnom okruženju - tramvaju.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Ivan Orgurević

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ISPITIVANJE RAZINE I KVALITETE SIGNALA BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE U PROMETNOM OKRUŽENJU

TESTING WIRELESS COMMUNICATION NETWORK SIGNAL LEVEL AND QUALITY IN TRAFFIC ENVIRONMENT

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Antonio Brdar

JMBAG: 0135242928

Zagreb, kolovoz 2021.

ISPITIVANJE RAZINE I KVALITETE SIGNALA BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE U PROMETNOM OKRUŽENJU

SAŽETAK

Wi-Fi je bežična komunikacijska mreža koja u prometnom okruženju ima sve veću ulogu, a jedan od primjera njene primjene je i u tramvajima. U prvoj polovici završnog rada opisano je kako Wi-Fi mreža funkcionira, po kojim standardima te koji su to parametri koji utječu na kvalitetu signala. Nadalje će se pružiti informacija o elementima Wi-Fi mreže te o slojevitom ISO modelu za povezivanje otvorenih sustava. Kako bi se izmjerila razina i kvaliteta Wi-Fi signala potrebna je upotreba programskih alata za mjerenje performansi mreže. U drugoj polovici završnog rada opisat će se i usporedit četiri takva programska alata. U završnom, praktičnom, dijelu rada bit će prikazana primjena tih programskih alata u mjerenju performansi Wi-Fi signala u tramvaju.

KLJUČNE RIJEČI: Bežična komunikacijska mreža (Wi-Fi), performanse Wi-Fi signala, elementi Wi-Fi mreže, alati za mjerenje performansi mreže, tramvaj

TESTING WIRELESS COMMUNICATION NETWORK SIGNAL LEVEL AND QUALITY IN TRAFFIC ENVIRONMENT

SUMMARY

Wi-Fi is a wireless communication network that is having an increasing role in an traffic enviroment, and one of the examples of it's aplications is in trams. The first half of the final paper describes how the Wi-Fi network works, according to which standards and what are the parameters that affect the signal quality. Furthermore, information will be provided on the elements of Wi-Fi networks and on the layered ISO model for connecting open systems. In order to measure the level and quality of Wi-Fi signals, the use of network performance monitoring tools is required. In the second half of the final paper, four such software tools will be described and compared. In the final, practical, part of the final paper will show the application of these tools in measuring the performance of Wi-Fi signals in the trams.

KEYWORDS: Wireless communication network (Wi-Fi), Wi-Fi signal performances, elements of Wi-Fi network, network perfomance monitoring tools, tram

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Značajke bežične komunikacijske mreže (Wi-Fi).....	3
2.1.	Prednosti i nedostaci Wi-Fi mreže.....	4
2.2.	802.11 Standardi.....	5
2.2.1.	IEEE 802.11b	5
2.2.2.	IEEE 802.11a	6
2.2.3.	IEEE 802.11g	7
2.2.4.	IEEE 802.11n	8
2.3.	Performanse Wi-Fi mreže	8
2.3.1.	Kašnjenje ili latencija	9
2.3.2.	Propusnost.....	9
2.3.3.	Varijacija kašnjenja (<i>Jitter</i>)	10
2.3.4.	Pojasna širina (<i>Bandwidth</i>).....	10
2.3.5.	Gubitak paketa	10
2.3.6.	<i>Bit Error Rate</i> (BER).....	11
3.	Wi-Fi infrastruktura	12
3.1.	Mrežni elementi	12
3.1.1.	Terminalni uređaj	12
3.1.2.	Pristupna točka.....	13
3.1.3.	Antena	13
3.2.	OSI referentni model	15
3.2.1.	Fizički sloj.....	16
3.2.2.	Sloj podatkovne veze.....	16
3.2.3.	Mrežni sloj	17
3.2.4.	Transportni sloj.....	17
3.2.5.	Sesijski sloj	18
3.2.6.	Prezentacijski sloj	18
3.2.7.	Aplikacijski sloj.....	18
3.3.	Frekvencije.....	19
3.3.1.	2.4 GHz	19
3.3.2.	5 GHz	20

4.	Programski alati za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže.....	22
4.1.	Prethodna istraživanja	22
4.2.	PRTG Network Monitor	23
4.3.	Obkio.....	24
4.4.	Fing	25
4.5.	Network Analyzer Pro	25
5.	Usporedba programskih alata za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže	27
5.1.	Karakteristike alata PRTG Network Monitor	27
5.2.	Karakteristike alata Obkio	29
5.3.	Karakteristike alata Fing	31
5.4.	Karakteristike alata Network Analyzer Pro.....	32
5.5.	Usporedba korištenih alata	33
6.	Ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u tramvaju.....	36
6.1.	Rezultati dobiveni alatom PRTG Network Monitor	36
6.2.	Rezultati dobiveni alatom Obkio	40
6.3.	Rezultati dobiveni alatom Fing	45
6.4.	Rezultati dobiveni alatom Network Analyzer Pro	50
6.5.	Usporedba dobivenih rezultata	55
7.	Zaključak.....	57
	Literatura	58
	Popis slika	61
	Popis tablica.....	62

1. Uvod

Razvojem tehnologije, primjena bežičnih komunikacijskih mreža nalazi svoju primjenu u gotovo svim područjima svakodnevnog života, pa tako i u prometu. Kako bi postajanje bežične komunikacijske mreže imalo smisla, potrebno je održavati određenu razinu kvalitete te ispravnost rada svih njezinih komponenata. Na kvalitetu signala može utjecati mnogo čimbenika te ona nikada ne može biti savršena, a za održavanje zadovoljavajuće razine kvalitete zadužene su stručne osobe te razni timovi stručnjaka, ovisno o koliko velikoj računalnoj mreži je riječ. Takve stručne osobe se koriste raznim programskim alatima i tehnikama u obavljanju svog posla.

Cilj završnog rada je opisati i usporediti četiri programska alata pomoću kojih je moguće napraviti dijagnostiku bežične mreže te pomoću tih programskih alata izmjeriti kvalitetu i razinu Wi-Fi signala u prometnom okruženju.

Svrha završnog rada je utvrditi kvalitetu besplatnog Wi-Fi-ja u tramvaju, korištenjem namjenskih programskih alata.

Završni rad je podijeljen u sedam povezanih cjelina:

1. Uvod
2. Značajke bežične komunikacijske mreže (Wi-Fi)
3. Wi-Fi infrastruktura
4. Programski alati za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže
5. Usporedba programskih alata za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže
6. Ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u tramvaju
7. Zaključak

U uvodnom dijelu rada opisana je struktura, cilj i svrha završnog rada.

U drugom poglavlju rada opisane su prednosti i nedostaci Wi-Fi mreže. Navedeni su i opisani neki od standarda te parametri koji utječu na performanse Wi-Fi mreže.

U trećem poglavlju opisani su mrežni elementi bežične komunikacijske mreže te su navedeni i opisani slojevi ISO referentnog modela na kojem se ona temelji. Također, opisani su frekvencijski pojasevi kojima se prenosi signal Wi-Fi mreže.

U četvrtom poglavlju navedene su osnovne informacije o programskim alatima pomoću kojih će se izvoditi mjerenje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u nastavku rada. Analizirani programski alati su *PRTG Network Monitor*, *Obkio*, *Fing* i *Network Analyzer Pro*.

U petom poglavlju su detaljno opisane značajke i sve mogućnosti svakog od programskih alata navedenih u prethodnom poglavlju. Napravljena je i međusobna usporedba svakog od programskih alata po određenim kriterijima.

U šestom poglavlju prikazani su rezultati mjerenja razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u tramvaju prema svakom od prethodno analiziranih programskih alata.

U sedmom poglavlju, *Zaključku*, sintetizirane su sve informacije prikupljene i obrađene tijekom izrade završnog rada.

Na kraju rada, nalazi se *Literatura* koja daje uvid u sve članke, knjige i analitike te internetske stranice korištene pri izradi završnog rada.

2. Značajke bežične komunikacijske mreže (Wi-Fi)

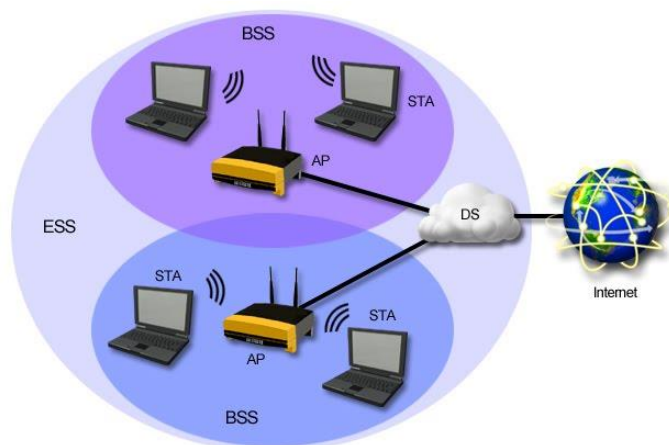
Wi-Fi mreža pripada pod lokalnu bežičnu mrežu (engl. *Wireless Local Area Network*, WLAN). WLAN je grupa računala koji međusobno komuniciraju i povezani su bežično, odnosno prijenosni medij im je zrak te se podaci prenose pomoću radiovalova. Wi-Fi je WLAN koji radi prema 802.11 standardima, razvijenih od strane Instituta inženjera elektrotehnike i elektronike (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE)¹. Wi-Fi je tehnologija koja omogućuje uređajima poput računala, prijenosnih računala, mobitela, videokamera itd. povezanost na Internet. Povezanost s Internetom se uspostavlja pomoću bežičnih usmjerivača. Wi-Fi može funkcionirati kao alternativa, ali kao i proširenje lokalne mreže (engl. *Local Area Network*, LAN)². [1]

Topologija bežične mreže može biti izvedena na dva načina:

- **Infrastrukturno** – korisnički terminalni uređaji se spajaju na pristupnu točku te preko nje komuniciraju s terminalnim uređajem drugo korisnika. Za ovu izvedbu je potrebna određena podrška infrastrukture. Postoje dvije izvedbe ove topologije:
 - a.) Set osnovne usluge (engl. Basic Service Set, BSS) – Bežična mreža je uspostavljena pomoću pristupne točke. Pristupna točka ima ulogu centralnog uređaja i ona centralizira pristup i kontrolu nad skupinom bežičnih uređaja.
 - b.) Set proširene usluge (Extended Service Set, ESS) – Povezuje više BSS u jednu distribucijsku cjelinu, to jest mrežu. Dvije ili više pristupne točke se spajaju na jednu lokalnu mrežu. ESS pruža veću prostornu pokrivenost tako što korisnicima omogućuje da se kreću i prespajaju između različitih pristupnih točaka, ali da ostanu u istoj mreži.
- **Ad-hoc** – kod ovog načina nema posredovanja pristupne točke već terminalni uređaji komuniciraju direktno, eliminirajući potrebu za infrastrukturom. Terminalni uređaji samostalno vode računa o prijenosu. Korištenjem ove izvedbe domet je nešto kraći u odnosu na infrastrukturni način rada. [2]

¹ IEEE pruža širok raspon publikacija i standarda s ciljem transfera tehničkih saznanja i informacija među tehnološkim stručnjacima.

² LAN je računalna mreža namijenjena povezivanju mrežnih uređaja na manjim područjima, npr. kuća, stambena zgrada, poslovni prostor i dr.



Slika 1. Struktura Wi-Fi mreže, [3]

Prikaz strukture Wi-Fi mreže te način uspostavljanja seta osnovne usluge i seta proširene usluge može se vidjeti na slici 1.

2.1. Prednosti i nedostaci Wi-Fi mreže

Wi-Fi mreža ima mnoge prednosti korištenja. Jedna od glavnih prednosti je mobilnost, a to znači da dokle god se korisnik nalazi u dometu pristupne točke on može koristiti Wi-Fi, što ne mora nužno biti na jednom fiksnom mjestu, a to je posebice pogodno za mobilne terminalne uređaje. Široka dostupnost je također bitna, a to znači da se više korisnika može lako i brzo spojiti na isti Wi-Fi. Produktivnost je također jedna od prednosti i veže se na mobilnost jer korisnik može svoje zadatke obavljati s više mjesta, no ovisno o udaljenosti od pristupne točke, razlikuje se brzina prijenosa. Wi-Fi mreža je jednostavna za instalaciju te joj novi korisnici mogu također vrlo jednostavno pristupiti (najčešće upisivanjem lozinke) i sve to uz minimalne troškove, posebice u usporedbi sa žičanom LAN mrežom.

Međutim, s obzirom da je lako pristupiti Wi-Fi mreži, posebice javnoj, ona je ranjiva na hakiranje i razne napade što je jedan od nedostataka. Wi-Fi zahtjeva radio propagaciju vidnog polja (engl. *Line of Sight*, LoS) što znači da je signal osjetljiv na prepreke u prostoru kao npr. široke zidove itd. Također su i brzine prijenosa znatno manje u odnosu na žičane mreže. Frekvencijski pojas od 2.4 GHz, na kojem Wi-Fi radi, ima velike šanse za interferenciju s drugim valovima koji su na istoj frekvenciji, a emitirani su od strane svakodnevnih susjednih uređaja. Na posljetku, još jedan nedostatak je taj što pojasna širina slabi s brojem korisnika koji se spajaju na mrežu. [4]

2.2. 802.11 Standardi

IEEE je 1997. godine razvio prvi standard, nazvan 802.11. Međutim, kako je taj standard podržavao maksimalnu pojasnu širinu (engl. *Bandwidth*) od 2 Mbps, što je presporo za upotrebu, on nije uspio opstati. To je rezultiralo razvojem velikog broja varijanti standarda kojima je upravo 802.11 temelj te je tako taj standard postao glavni za lokalne mreže. Serija standarda 802.11 je osmišljena tako da su sve verzije međusobno kompatibilne, a to osigurava interoperabilnost između velikog broja uređaja i dostupnih mreža. [5] Neki od najbitnijih takvih standarda bit će opisani u nastavku.

2.2.1. IEEE 802.11b

U srpnju 1999. godine, IEEE je proširio originalni 802.11 standard te je nastao 802.11b, alternativnog naziva Wi-Fi 1. Ovo je bio prvi Wi-Fi standard koji je ušao u široku primjenu, ugradnjom u računala, prijenosna računala te ostalu vrstu opreme. Teoretski maksimalna brzina prijenosa podataka je 11 Mbps, međutim bi ipak realnija brzina bila oko 5 Mbps. Radi na frekvenciji od 2.4 GHz industrijskog, znanstvenog i medicinskog (engl. *Industrial, Scientific and Medical*, ISM) spektra radiovalova. Širina kanala je 20 MHz, što mu je ujedno i jedna od prednosti jer su niži troškovi proizvodnje, ako se upotrebljava ta frekvencija. Tipičan domet mu je oko 30 metara u zatvorenim prostorima.

Prilikom odašiljanja podataka koristi se tehnika višestrukog pristupa nosioca s izbjegavanjem preklapanja (engl. *Carrier-sense multiple access with collision avoidance*, CSMA/CA). Ta tehnika funkcionira na način da kada određeni čvor u mreži želi razmjenu podataka, on traži slobodan kanal i šalje informaciju tim kanalom. Nakon toga čvor čeka potvrdu primitka odaslane informacije, a ako je u određenom vremenskom razdoblju ne zaprimi, on zaključuje da je došlo do interferencije i da informacija nije zaprimljena te ponovno odašilje istu informaciju.

Format radiofrekvencijskog signala koji se koristi za 802.11b standard, koristi komplementarno kodiranje (engl. *Complementary code keying*, CCK)³ koje je varijacija višestrukog pristupa s kodnom podjelom (engl. *Code-division multiple access*, CDMA)⁴, a bazira se na tehnici proširenog spektra (engl. *Direct sequence spread spectrum*, DSSS)⁵.

Kod projektiranja mreže koja radi na ovom standardu treba uzeti u obzir da dolazi do interferencije s ostalim uređajima koji također rade na frekvenciji od 2.4 GHz, poput

³ CCK je vrsta modulacije korištena kod WLAN mreža, razvijena je da bi se postigla veća brzina prijenosa podataka pod cijenu kraćeg dometa.

⁴ CDMA je tehnika višestrukog pristupa kod koje se interferencija sprječava kodiranjem.

⁵ DSSS je tehnika kod koje je spektar odaslanog signala puno veći od spektra informacijskog signala, a istovremeno, signal se nalazi ispod razine termalnog šuma što ga čini teškim za detekciju i blokiranje.

mikrovalnih pećnica i bežičnih terminalnih uređaja. Međutim, to ne predstavlja prevelik problem, već dovoljno je pozicionirati 802.11b opremu na dovoljnoj udaljenosti od takvih uređaja i neće doći do interferencije. [6]

2.2.2. IEEE 802.11a

Nastao je u isto vrijeme kada i 802.11b. Alternativnog naziva Wi-Fi 2, podržava maksimalnu brzinu prijenosa do 54 Mbps te pruža bežičnu mrežnu povezanost u ISM spektru od 5 GHz, širine kanala od 20 MHz. Obzirom na frekvenciju ima kraći domet u odnosu na 802.11b te je osjetljiviji na fizičke prepreke u zatvorenim prostorima, kao što su zidovi, zbog toga nije toliko popularan kao 802.11b. Također zbog različitih frekvencija, nije kompatibilan s 802.11b mrežnom opremom i uređajima. Zbog većih troškova implementacije, češće se koristi u poslovnim mrežama nego u kućnoj primjeni. Standard koristi ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje (engl. *Orthogonal frequency division multiplexing*, OFDM).

OFDM je oblik višestrukog pristupa koji dijeli prijenosni pojas u više manjih kanala, po jedan za svakog podnosioca. Kanali su blizu jedni drugih, ali su međusobno ortogonalni pa ne dolazi do interferencije među njima. U 802.11a, OFDM signal sadrži 52 podnosioca, od kojih 48 služi za prijenos podataka, a ostala četiri služe za sinkronizaciju između prijatelja i predajnika. *Bandwidth* od 20 MHz je podijeljen na 64 kanala od kojih se koriste samo 52 i oni zauzimaju 16.6 MHz, a ostatak prostora se koristi kao pregrada između kanala. Razmak između podnosioca iznosi 0.3125 MHz što rezultira efikasnijom iskoristivošću radio spektra.

Podnosioci sami za sebe mogu koristiti razne oblike modulacije, a ovisno o uvjetima to mogu biti: Binarno fazno pomicanje (engl. *Binary Phase-shift keying*, BPSK)⁶, kvadraturno fazno pomicanje (engl. *Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK)⁷ te kvadraturna amplitudna modulacija (engl. *Quadrature amplitude modulation*, QAM)⁸, odnosno 16-QAM i 64-QAM. [6]

Tablica 1. Odnos brzine prijenosa i modulacije [6]

Brzina prijenosa podataka (Mbps)	Modulacija	Stopa kodiranja
6	BPSK	$\frac{1}{2}$
9	BPSK	$\frac{3}{4}$
12	QPSK	$\frac{1}{2}$
18	QPSK	$\frac{3}{4}$
24	16-QAM	$\frac{1}{2}$
36	16-QAM	$\frac{3}{4}$
48	64-QAM	$\frac{1}{2}$
54	64-QAM	$\frac{3}{4}$

⁶ BPSK je digitalna modulacija kod koje se mijenjaju dvije faze vala nosioca za predstavljanje digitalnih podataka.

⁷ QPSK koristi dvije različite BPSK modulacije; jedan val u fazi i drugi kvadraturni.

⁸ QAM radi na način da se mijenjaju amplitude dva vala nosioca koji se razlikuju u fazi za 90°.

U ovisnosti o brzini prijenosa podataka određuje se oblik modulacije koji će se koristiti. Unutar signala, trajanje simbola iznosi 4 mikrosekunde te postoji i zaštitni interval od 0.8 mikrosekunde. [6] Primjer korištene modulacije u odnosu na brzinu prijenosa podataka prikazan je u tablici 1.

2.2.3. IEEE 802.11g

Standard IEEE 802.11g je nastao 2003. godine, još nosi naziv i Wi-Fi 3 te je razvijen kombinacijom najboljih elemenata 802.11a i 802.11b standarda. Podržava *bandwidth* od 54 Mbps te radi na frekvenciji od 2.4 GHz. Kompatibilan je s 802.11b, što znači da 802.11g pristupna točka može raditi s 802.11b mrežnim adapterima i obrnuto. Podržava sve bežične uređaje i mrežnu opremu u današnjoj upotrebi. Također koristi OFDM kako bi si spriječila smetnje između kanala i istovremeno prenosili podaci velikim brzinama.

Kako bi se osigurala maksimalna sposobnost, a istovremeno i kompatibilnost s 802.11b, koriste se četiri vrste fizičkog sloja. Tri takva sloja su definirana kao fizički slojevi proširene stope (engl. *Extended Rate Physicals*, ERP), dok jedan koristi Paketno binarno konvolucijsko kodiranje (engl. *Packet Binary Convolutional Coding*, PBCC)⁹ Ti slojevi su:

- **ERP-DSSS-CCK**: sloj koji koristi 802.11b
- **ERP-OFDM**: novi sloj, prvo se koristio u 802.11g, OFDM osigurava jednake brzine prijenosa, na 2.4 GHz, kao što ima 802.11a na 5.8 GHz
- **ERP-DSSS/PBCC**: proširene brzine prijenosa na 22 i 33 Mbps
- **DSSS-OFDM**: zaglavlje paketa se prenosi korištenjem DSSS, a ostatak korištenjem OFDM [6]

Sažetak fizičkih slojeva IEEE 802.11g standarda prikazan je na tablici 2.

Tablica 2. Sažetak fizičkih slojeva [6]

Fizički sloj	Primjena	Brzina prijenosa podataka (Mbps)
ERP-DSSS	Obavezna	1, 2, 5.5, 11
ERP-OFDM	Obavezna	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
ERP-PBCC	Opcionalna	1, 2, 5.5, 11, 22, 33
DSSS-OFDM	Opcionalna	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54

Paketi koji se prenose ovim standardom, ali i ostali Wi-Fi paketi, sastoje se od dva (2) djela, a to su zaglavlje i MAC podaci. Uloga zaglavlja je sinkronizacija prijarnika i predajnika,

⁹ PBCC je modulacijska tehnika za podatkovnu komunikaciju koji za kodiranje koristi matematičku metodu konvolucije.

sastoji se od slijeda 0 i 1 i još sadrži i podatke od duljini informacije. MAC podaci su stvarni podaci koji se trebaju prenijeti, a mogu biti veličine od 64 do 1500 byte-a. [6]

2.2.4. IEEE 802.11n

Standard 802.11n, još je nazvan Wi-Fi 4., a razvijen je 2009. godine kako bi unaprijedio 802.11g u smislu većeg *bandwitha* (od 20 MHz ili 40 MHz), uporabom nekoliko signala i antena umjesto jedne. Takva tehnologija naziva se tehnologijom više ulaza i više izlaza (engl. *Multiple Input Multiple Output*, MIMO) te se njome maksimalna brzina prijenosa podataka povećala na 600 Mbps, što je znatna razlika u odnosu na prethodne verzije.

MIMO tehnologija je antenska tehnologija koja radi na način da uz pomoć većeg broja antena omogućava signalu da putuje različitim putovima kao rezultat refleksije ili sl., te razdvajanje signala kako bi se poboljšale performanse sustava.

S obzirom da MIMO tehnologija prilikom prijenosa podataka troši mnogo energije hardvera, on je napravljen tako da ostaje neaktivan i ne troši energiju kada se ne prenose podaci.

Kompatibilna je s 802.11a/b/g mrežnom opremom i uređajima te ima veći domet u odnosu na prethodne verzije zbog povećanog intenziteta signala. Međutim zbog tih prednosti je znatno skuplji za implementaciju. Korištenjem više signala može doći do interferencije s obližnjim mrežama baziranim na 802.11b/g. [6]

Postoje tri načina na koji 802.11n pristupna točka može raditi, a to su *Legacy*, *Mixed* i *Greenfield Mode*:

- **Legacy Mode** – Radi samo na 802.11a, 802.11b i 802.11g standardima.
- **Mixed Mode** – Isto kao i *Legacy Mode*, ali još radi i na 802.11n standardu.
- **Greenfield Mode** – Radi samo na 802.11n standardu i ima najveće performanse. [6]

2.3. Performanse Wi-Fi mreže

Performanse mreže su skup analiza i recenzija kolektivne statistike mreže kako bi se definirala kvaliteta usluge koje pruža ta mreža. To je kvalitativni i kvantitativni postupak koji mjeri i definira razinu izvedbe dane mreže. Vodi mrežnog administratora u pregledu, mjerenju i poboljšanju mrežnih usluga. Performanse mreže su uglavnom mjerene iz perspektive krajnjeg korisnika. [7]

Upravljanje mrežnim performansama predstavlja sposobnost mreže ili nekog njenog dijela da osigura i pruži funkcije za međusobno komunikaciju između korisnika. Osnovna zadaća je nadziranje i procjena kvalitete mreže i mrežnih servisa kako bi se mogle poduzeti preventivne ili korektivne mjere za njeno usavršavanje. Postoje tri glavne funkcije za upravljanje performansama mreže:

- **Nadgledanje performansi** – sumiranje, prezentacija i pohranjivanje podataka
- **Analiza performansi** – metode za izračun osnovnih pokazatelja performansi, analiza prikupljenih podataka na osnovu kojih se poduzimaju kontrolne mjere.
- **Kontrola performansi** – kontrola protoka podataka te administriranje sustava upravljanja mrežnim performansama [8]

Mrežne performanse ovise o nekoliko parametara koji će biti opisani u nastavku.

2.3.1. Kašnjenje ili latencija

Kašnjenje odnosno latencija je vrijeme koje je potrebno da paket prijeđe put između dva računala, kroz mrežu. Najčešće se mjeri u milisekundama. U slučaju LAN mreže ono najčešće iznosi oko 1 ms, ali varira od uređaja do uređaja.

Postoji više varijanti kašnjenja:

- **Kašnjenje zbog prolaska** – Vrijeme koje prođe dok se jedan signal prenese kroz medij.
- **Kašnjenje zbog čekanja u redu** – Vrijeme koje paket provede u memoriji, čekajući na prijenos. Ovisi o stanju mreže.
- **Kašnjenje zbog prospajanja** – Vrijeme koje prođe dok paketna sklopka preuzme kompletan paket i odredi sljedeći čvor u mreži kojem će ga proslijediti. Obično su to najmanje vrijednosti u odnosu na ostale oblike kašnjenja.
- **Kašnjenje zbog čekanja na pristup** – Vrijeme koje prođe dok računalo čeka pristup mediju. Također ovisi o stanju mreže. [8]

Kašnjenje se teško može predvidjeti i precizno izračunati jer ovisi o trenutnom opterećenju mrežnih čvorova i o performansama mreže. [8]

2.3.2. Propusnost

Propusnost ili efektivni kapacitet označava stvarnu količinu podataka koju je moguće prenijeti mrežom u određenom vremenskom razdoblju odnosno označava efektivnu brzinu prijenosa podataka. Maksimalna propusnost je jednaka kapacitetu sustava, ali samo ako se pretpostavi da kanal nema nikakve greške. Najčešće se označava u bitovima po sekundi. Nedovoljna propusnost rezultira kašnjenjem u prijenosu. [8], [9], [10]

2.3.3. Varijacija kašnjenja (*Jitter*)

Varijacija kašnjenja je mjera koja pokazuje koliko kašnjenje može odstupati od svoje prosječne vrijednosti. Mjeri se u jedinici vremena, a varijacija kašnjenja osobito je bitna pri pokretanju multimedijских aplikacija putem mreže kao što je reprodukcija videozapisa. U tom slučaju poželjno je da je varijacija kašnjenja što manja, kako se reprodukcija videozapisa ne bi odvijala u vremenskom pomaku u odnosu na pošiljatelja (kod povećanog kašnjenja videozapis zastajkuje, a kod smanjenog kašnjenja reproducira se prebrzo). Ako u mreži postoji povećana varijacija kašnjenja, moguće je dijelove videozapisa spremati u spremnike na strani primatelja, iz kojih se odvija reprodukcija s još većim vremenskim pomakom od kašnjenja. [8]

2.3.4. Pojasna širina (*Bandwidth*)

Pojasna širina je najveća moguća količina podataka koju je moguće prenijeti medijem u jedinici vremena, a mjeri se u bit/s. To je teorijska gornja granica za propusnost prijenosnog, fizičkog medija. S tehničkog pogleda, može se opisati kao spektar frekvencija koji elektronski signal zauzme prilikom prijenosa podataka. [8] Najčešća propusnost jednog kanal, kod IEEE 802.11 standarda, iznosi 20 MHz te je spajanje susjednih kanala postalo osnovno pravilo za povećanje propusnosti iznad 20 MHz. Spajanje kanala se primjenjuje prvenstveno zbog jednostavnosti izvedbe mrežne opreme odašiljača i prijamnika, kao i signalizacijskih protokola. [11]

2.3.5. Gubitak paketa

Gubitak paketa nastaje kada jedan ili više paketa, koji se prenose mrežom, ne dođe do ciljanog odredišta zbog prepunijavanja spremnika u mrežnim čvorovima (usmjerivačima). Za korisnika se očituje kao mrežni poremećaj, sporo posluživanje ili kao potpuni prekid mrežne povezanosti. Gubitak paketa može zadesiti bilo koju aplikaciju, ali najčešće one koje se baziraju na prijenosi pri stvarnom vremenu, npr. video ili zvuk. [9], [12]

Gubitak paketa se može dogoditi zbog mnoštva razloga, a neki od najčešćih su:

- **Zagušenje mreže** – Događa se zbog prepunijavanja spremnika u čvorovima paketne mreže prilikom čekanja paketa u redovima za usmjeravanje. Kod nekih aplikacija se predugo čekanje gleda kao gubitak paketa.

- **Sigurnosni problemi** – Moguć je zlonamjerman napad na mrežu kod kojeg napadač preuzima kontrolu nad usmjerivačem i namjerno preusmjerava pakete te tako izaziva gubitak paketa.
- **Problemi s mrežnim hardverom** – Zastario hardver, npr. preklopnik ili usmjerivač često ne može pratiti količinu prometa koja raste s vremenom, pa dolazi do gubitka paketa.
- **Bugovi na softveru** – Javljaju se kada se softver ne održava pravilno. Lako se mogu otkloniti pravovremenim ažuriranjem. [13]

Osnovna metoda za oporavak izgubljenih paketa je njihovo ponovno slanje, npr. ponovno slanje paketa od strane odašiljača ukoliko ne primi potvrdu o primitku. [14]

2.3.6. *Bit Error Rate (BER)*

Bit Error Rate je broj pogrešno prenesenih bitova podijeljen s ukupnim brojem prenesenih bitova u određenom vremenskom razdoblju. Najčešće se izražava u postocima. Postoji mnogo čimbenika koji utječu na *Bit Error Rate*, a neki od njih su šum, interferencija, gubitak signala, problemi sa sinkronizacijom bitova itd. [8]

3. Wi-Fi infrastruktura

Osnovni elementi Wi-Fi infrastrukture su korisnički terminalni uređaji, pristupna točka te antena. Terminalni uređaj se povezuje s pristupnom točkom te preko nje ide komunikacija s drugim korisnikom. [2] Ti mrežni elementi biti će opisani u nastavku poglavlja. Također će biti opisan i referentnim OSI modelom povezivanja otvorenih sustava (engl. *Open Systems Interconnection*, OSI), koji prikazuje kako se odvija komunikacija između sustava te frekvencije koje Wi-Fi tehnologija koristi za prijenos.

3.1. Mrežni elementi

Ukoliko se želi instalirati mrežna Wi-Fi oprema, bilo od strane korisnika ili od strane stručne osobe, potrebno je osnovno znanje o tome kako ta oprema funkcionira. Točnije potrebno je znati koje su komponente potrebne kako bi se uspostavila bežična internetska mreža i kako te komponente komuniciraju jedna s drugom. Međutim to ne predstavlja prevelik problem jer s vremenom i razvojem tehnologije ti mrežni uređaji postaju sve jednostavniji i sigurniji za uporabu. [15]

3.1.1. Terminalni uređaj

Terminalni uređaji su krajnji korisnički uređaji koji služe za pretvorbu različitih vidova informacija u električne signale pogodne za prijenos prijenosnim medijem, u ovom slučaju zrakom. Također i obrnuto, vrše pretvorbu elektromagnetskih valova u informacije razumljive korisniku. Nalaze se u krajnjoj točki mreže i imaju ulogu prijamnika odnosno predajnika te imaju ugrađen modul za pristup mreži. U Wi-Fi mreži takvi uređaji mogu biti stolna i prijenosna računala, mobiteli, tableti, bežični printeri, bežični telefoni, pametne kamere, pametni televizori, pametni satovi itd. [16]

Kako bi se osigurala povezanost uređaja s mrežom, oni moraju imati ugrađene mrežne kartice ili odgovarajuće adaptere i pretvarače za spajanje na mrežu. Bežične mrežne kartice su potrebne svakom uređaju u bežičnoj mreži. Ugrađuju se kao standardna funkcionalnost u sva prijenosna i stolna računala, tablete i pametne telefone već posljednjih desetak godina. Za računala starija od desetak godina, potrebno je ugraditi mrežnu karticu kao vanjski dodatak. One mogu doći u obliku univerzalne serijske sabirnice (engl. *Universal Serial Bus*, USB)¹⁰ ili u

¹⁰ USB je tehnološko rješenje za pohranu podataka ili komunikaciju računala s vanjskim uređajima.

obliku PCMCIA (engl. *Personal Computer Memory Card International Association*)¹¹ kreditne kartice. [15]

3.1.2. Pristupna točka

Pristupna točka (engl. *Access Point*) je uređaj koji korisničkim terminalnim uređajima omogućuje bežični pristup Internet mreži. Najčešće se spaja na žičane komponente kao što su usmjerivači ili preklopnici, preko *ethernet* kablova. Pristupne točke služe za emitiranje signala bežične lokalne mreže na nekom području. Ukoliko je emitirani signal preslab npr. u nekoj prostoriji, mogu se koristiti ponavljači signala. Ponavljači rade na način da se povežu s pristupnom točkom, primaju njen signal te ga ponovno emitiraju, povećavajući područje pokrivenosti signalom. Pristupne točke posjeduju identifikator postavljenog servisa (engl. *Service Set Identifier*, SSID)¹² koji korisnik odabire prilikom povezivanja. [15]

S obzirom da pristupne točke imaju mogućnost komuniciranja s drugim pristupnim točkama, bežičnim klijentskim uređajima na postojećoj Wi-Fi mreži i sa žičanim mrežama, one mogu imati tri načina rada:

- **Korijenski mod (engl. *Root mode*)** – Osnovni način rada. Funkcionira na način da postoji glavna pristupna točka na koju se spajaju korisnici sa svojim uređajima, a ona se dalje žičano povezuje s ostatkom mreže.
- **Most mod (engl. *Bridge mode*)** – Povezivanje odvojenih dijelova iste mreže. Funkcionira na način da pristupna točka premošćuje dva ili više fizički odvojena dijela iste LAN mreže. Svaka pristupna točka mora imati svoj mrežni naziv, odnosno SSID.
- **Ponavljajući mod (engl. *Repeater mode*)** – Pristupna točka s jedne strane ima ulogu ponavljača i povezana je s korisnicima, a s druge strane je kao klijent povezana s primarnom pristupnom točkom koja se još naziva *root* točka. Mreža mora imati SSID i sigurnosni ključ. Svrha ovog načina rada je proširenje dosega WLAN mreže. [2]

3.1.3. Antena

Antene su uređaji koji služe za emitiranje odnosno prijem elektromagnetskih valova. Antene prilagođavaju impedanciju odašiljača na impedanciju slobodnog prostora.

¹¹ PCMCIA kartice osiguravaju vezu između klijenata i mreže.

¹² SSID predstavlja naziv mreže odnosno ime dodijeljeno bežičnoj lokalnoj mreži (WLAN) koje ju jedinstveno identificira u zoni prijema signala.

Antene se razlikuju po nekoliko parametara te postoji više vrsta antena ovisno o sustavu u kojem ih je potrebno koristiti. Ti parametri su:

- **Rezonantna frekvencija** – frekvencija pri kojoj je električka duljina antene jednaka polovici valne duljine. Fizička dimenzija antene koja ostvaruje najbolji učinak odgovara polovici valne duljine. Rezonantna frekvencija se može prikazati formulom:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} = \frac{c}{2f} \quad (1)$$

Frekvencija na kojoj neki sustav radi obrnuto je proporcionalna valnoj duljini u odnosu na brzinu svjetlosti (c).

- **Impedancija** – impedancija slobodnog prostora iznosi 377Ω dok je impedancija pojnog voda koji izlazi iz odašiljača oko 50Ω
- **Usmjerenost** - parametar koji pokazuje koliku količinu elektromagnetskog zračenja antena proizvodi u nekom smjeru u odnosu na zamišljenu antenu koja zrači kuglasti val
- **Dobitak** – parametar koji pokazuje stvarnu količinu elektromagnetskog zračenja
- **Polarizacija** – smjer titranja vektora električnog polja kojeg zrači antena. Može biti horizontalna, vertikalna i kružna.
- **Dijagram zračenja** - raspodjela gustoće snage ili jakosti električnog polja u prostoru oko antene. [17]

Uloga antene je povećanje prostora pokrivenosti Wi-Fi mreže. One ne pojačavaju signal već ga oblikuju na način da umanjuju gubitke. [17]

Osnovne vrste antena koje se primjenjuju u Wi-Fi mrežama, a ovise o primjeni su:

- **Omni-direkcionalna antena** – Mogu imati različite dobitke, a zrače jednako u svim smjerovima. Najčešće se koristi u unutarnjim prostorima.
- **Polu-direkcionalna antena** – Najveće zračenje ima u jednom smjeru. Osnovna uporaba im je u premošćivanju WLAN mreža. Primjer takvih antena su *Yagi*¹³ i *Patch*¹⁴ antena.
- **Visoko-direkcionalna antena** – Također se koriste za premošćivanje WLAN mreža, ali u odnosu na polu-direkcionalne antene imaju veći dobitak. Paraboličnog su oblika. Zrače isključivo u jednom smjeru te se još koriste za *point-to-point* linkove na velike udaljenosti.
- **Diversity antena** – više povezanih antena koje rade zajedno, a za cilj imaju poboljšanje kvalitete signala. Prednost ima ona antena koja prima jači signal. Može biti *dual-band* (podržava istovremeni prijenos signala u frekventijskom spektru od 2.4 GHz i 5 GHz) i *tri-band* (podržava prijenos jednog signala u frekventijskom spektru od 2.4 GHz i dva signala u frekventijskom spektru od 5 GHz) [2], [17]

¹³ *Yagi* antene imaju dobitak od 6 dBi do 20 dBi, uglavnom se koriste za prijenos televizijskog signala.

¹⁴ *Patch* antene su malih dimenzija i nisu pogodne za širokopojasni prijenos, koriste se u mobilnim terminalnim uređajima.

3.2. OSI referentni model

OSI referentni model je teoretski model koji prikazuje kako neka dva sustava mogu međusobno komunicirati neovisno o njihovoj temeljnoj arhitekturi, odnosno pokazuje funkcije i veze između sustava.

OSI model nastao je kao rezultat uvođenja računalskih komunikacija putem javne mreže te razvojem paketnih i integriranih više uslužnih mreža. Razvijen je od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (engl. *International Organization for Standardization*, ISO)¹⁵, koja je 1977. godine počela s razvojem slojevitog modela za povezivanje otvorenih sustava. Model je prihvaćen 1984. godine.

OSI je skraćeni opis za slojevitou komunikaciju i dizajn kompjutorskih mrežnih protokola. Svaki sloj obavlja definiranu funkciju u kontekstu cjelokupne komunikacije. Niži slojevi orijentirani su na mrežne funkcije, a viši slojevi sustava su orijentirani na aplikacijske funkcije. Slojevi međusobno mogu komunicirati samo sa susjednim slojevima. Podaci mijenjaju format pri prelasku u drugi sloj i podaci višeg sloja se enkapsuliraju, odnosno podacima višeg sloja dodaje se zaglavlje sloja kroz koji podaci prolaze. [18]

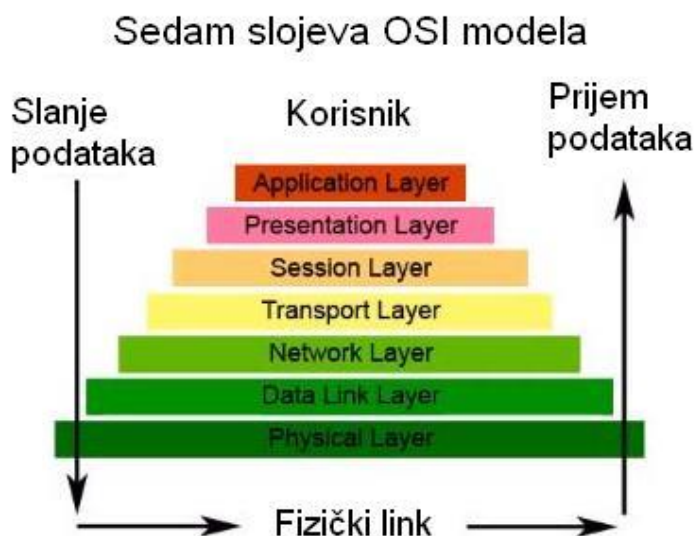
Prednosti ovog modela su:

- Mrežna komunikacija svedena je na manje dijelove što je čini jednostavnijom, a samim time je i učenje o mrežama lakše
- Slojevi su neovisni jedni o drugima pa promjena jednog sloja ne utječe na druge slojeve
- Standardizacija mrežnih komponenti
- Moguć je razvoj od strane više proizvođača
- Osigurava okruženje za mrežni razvoj
- Mogućnost komunikacije s različitim vrstama mrežnog hardvera i softvera [19]

Slojevi OSI referentnog modela bit će detaljnije opisani u nastavku, a oni su:

1. Aplikacijski sloj (engl. *Application layer*)
2. Prezentacijski sloj (engl. *Presentation layer*)
3. Sloj sesije (engl. *Session layer*)
4. Prijenosni sloj (engl. *Transport layer*)
5. Mrežni sloj (engl. *Network layer*)
6. Podatkovni sloj (engl. *Data Link layer*)
7. Fizički sloj (engl. *Physical layer*) [18]

¹⁵ ISO je nevladina organizacija za donošenje standarda na međunarodnoj razini.



Slika 2. Slojevi OSI referentnog modela, [20]

Slojevi OSI referentnog modela i pojednostavljeni prikaz rada modela prikazani su slikom 2.

3.2.1. Fizički sloj

Fizički sloj je najniži sloj OSI referentnog modela i razlikuje se od ostalih slojeva tako što ispod njega nema sloja koji mu daje usluge, već postoji samo pasivno okruženje. Čine ga fizički prijenosni medij koji se koristi za prijenos signala kroz mrežu. Signal može biti elektromagnetski, optički, električni, svjetlosni i dr. Komponente koje se povezuju s ovim slojem su kablovi, antena i pojačalo, utikač i utičnica za mrežne kablove, ponavljač, primopredajnik i dr. Sam prijenosni medij može biti žičan ili bežičan, odnosno zrak. Podaci koji se nalaze na mrežnoj kartici konvertiraju se u signal pogodan za prijenos prijenosnim medijem te se na odredištu ponovno konvertiraju u početne podatke. Taj postupak je unaprijed utvrđen i strogo definiran i standardiziran. [18], [21]

3.2.2. Sloj podatkovne veze

Sloj podatkovne veze povezuje fizičke komponente mreže sa softverskim dijelom. On ima za ulogu preuzeti pakete od mrežnog sloja, enkapsulirati ih u okvire koji sadrže oznake pošiljatelja i odredišta te upravljačke podatke i nakon toga ih proslijediti fizičkom sloju. Također vrši i konverziju toka podataka u signale. Ovaj sloj obavlja i još neke složene funkcije

kao što su kontrola toka i greške, sinkronizacija okvira te kontrolira pristup korištenom prijenosnom mediju. Sastoji se od dva sloja. Prvi sloj je kontrola logičke veze (engl. *Logical Link Control*, LLC) koji komunicira s mrežnim slojem zbog osiguravanja konekcijske ili ne konekcijske veze te vrši kontrolu toka. Drugi sloj je kontrola pristupa mediju (engl. *Media Access Control*, MAC) koji komunicira s fizičkim slojem i pruža pristup LAN mediju. Najčešća mrežna oprema koja se koristi na ovom sloju su mostovi i preklopnici. [18], [22]

3.2.3. Mrežni sloj

Mrežni sloj je zadužen za dostavu paketa, najboljim putem, od krajnjeg izvorišnog do krajnjeg odredišnog čvora. Treba uzeti u obzir da izravna veza između izvorišnog i odredišnog čvora često nije moguća pa se paket mora usmjeravati kroz niz među čvorova. Ovaj sloj je zadužen i za kontrolu usmjeravanja između čvorova, adresiranje poruke te prevođenjem logičkih u fizičke adrese (npr. IP adresa u MAC adresu). Ukoliko je potrebno mrežni sloj može segmentirati IP segmente u manje segmente, ako raspoloživi kapacitet mreže to zahtijeva. Najčešći uređaji na ovom sloju su usmjerivači. [18], [23]

3.2.4. Transportni sloj

Dok mrežni sloj omogućuje logičku komunikaciju između računala, transportni sloj omogućuje logičku komunikaciju između aplikacija računala. Transportni sloj osigurava najpovoljnije korištenje mrežnih usluga i resursa koji ovise o korisničkim zahtjevima. Transportni sloj segmentira i ponovno spaja podatke u cjelinu u svrhu smanjenja zagušenja u mreži. Podatkovne jedinice na ovom sloju se nazivaju blokovi. Oni se prilikom slanja numeriraju te odredište nakon primitka bloka šalje ACK¹⁶ signal pošiljatelju. Ukoliko pošiljatelj ne primi signal, paket se ponovno šalje. Zbog toga transportni sloj služi kao dodatna provjera koja osigurava da su svi podaci ispravno primljeni i spremni za korištenje. [18], [24]

Na transportnom sloju postoje dva osnovna protokola. To su TCP (engl. *Transmission Control Protocol*) i UDP (engl. *User Datagram Protocol*). [24]

TCP protokol je konekcijski orijentiran protokol za pouzdan prijenos podataka. Osnovne funkcije TCP protokola su adresiranje, multipleksiranje, kvaliteta prijenosa, kontrola toka, kontrola veze, prioritet i sigurnost. Bazira se na IP protokolu. [18]

UDP protokol je također baziran na IP protokolu. On je ne konekcijski protokol i ne omogućava pouzdan prijenos podataka. Ukoliko se paket ne dostavi ne javlja se poruka o grešci. Paketi se ne numeriraju i zaštitna suma nije obavezna te se iz tog razloga ne provjerava

¹⁶ ACK signal se šalje između uređaja koji međusobno komuniciraju, a označava potvrdu primitka poruke.

ispravnost paketa prilikom prijenosa. UDP protokol je pogodan za prijenos podataka u stvarnom vremenu. [18], [24]

3.2.5. Sesijski sloj

Sloj sesije uspostavlja i održava komunikaciju između aplikacija koje se izvršavaju na uređajima koji komuniciraju i to se naziva sesija. Osnovne funkcije ovog sloja su autorizacija korisnika, odnosno ima li korisnik dozvolu pristupiti serveru. Druga funkcija je autentifikacija korisnika što znači da odredište može tražiti potvrdu identiteta korisnika. Sloj sesije osigurava da se upit za određeni tip usluge pravilno postavi, što znači da se slojevi sesije na oba kraja sinkroniziraju i osiguravaju da se pošalje zahtijevani tip poruke, npr. video, slika, e-mail i dr. Također, ako u sustavu postoji više aplikacija, sloj sesije usmjerava podatke prema pravnoj odredišnoj aplikaciji. [18], [22]

3.2.6. Prezentacijski sloj

Uloga prezentacijskog sloja je formatiranje podataka prilikom njihove razmjene između računala u mreži. Ovaj sloj preuzima podatke od aplikacijskog sloja i prevodi ih u oblik razumljiv računalu, uglavnom binarni, ali moguć je prijevod u druge formate kao što su ASCII¹⁷ (engl. *American Standard Code for Information Interchange*), EBCDIC¹⁸ (engl. *Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*) i eksterna prezentacija podataka (engl. *External Data Representation*, XDR)¹⁹. Osim konverzije podataka, ovaj sloj još obavlja funkcije kriptografske zaštite, konverzije protokola ili skupa karaktera te kompresije podataka. [18]

3.2.7. Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj pruža povezanost nižim slojevima OSI modela. Ovaj sloj nudi protokole koji omogućuje softveru slanje i primanje informacija i njihovo smisleno prezentiranje krajnjem korisniku. Same aplikacije se ne nalaze u ovom sloju, već im se pruža pristup mrežnim uslugama. Programi koji komuniciraju s aplikacijskim slojem moraju biti napisani tako da

¹⁷ ASCII je kod koji se koristi kod kodiranja teksta u računalima, a temelji se na engleskoj abecedi.

¹⁸ EBCDIC je sustav znakova od osam bitova koji se uglavnom koristi na IBM operativnim sustavima.

¹⁹ XDR je standardni format za serijalizaciju podataka, za upotrebu kod računalnih mrežnih protokola.

posjeduju komunikacijske komponente, a razlog tome je taj, što aplikacijski sloj nije u vezi s programima koji zahtijevaju samo lokalne resurse. [18]

Tipovi programa koji se koriste na ovom sloju su elektronička pošta, elektronička razmjena podataka, konferencijske aplikacije i *World Wide Web*. Neki od protokola koji se koriste na ovom sloju su uglavnom protokoli za prijenos poruka, kao HTTP²⁰ (engl. *Hypertext Transfer Protocol*), SMTP²¹ (engl. *Simple Mail Transfer Protocol*), POP²² (engl. *Post Office Protocol*) i FTP²³ (engl. *File Transfer Protocol*). [25]

3.3. Frekvencije

Wi-Fi uglavnom funkcionira u jednom od dva frekvencijska pojasa, a to su pojasevi od 2.4 GHz i 5 GHz. To je nelicencirani pojas imena ISM. Kako mu i samo ime govori, ISM pojas se osim u telekomunikacijske svrhe koristi i u industrijske, znanstvene i medicinske svrhe. Razlog uporabe nelicenciranog pojasa je prvenstveno ekonomske prirode jer je sam postupak licenciranja vrlo dugačak i skup. Međutim s obzirom da mnogo uređaja koristi isti pojas, odnosno dijeli frekvenciju, postoje velike šanse da dođe do međusobne interferencije između tih uređaja. Kako bi se, što je više moguće, spriječila ta interferencija koriste se tehnike proširenog spektra i OFDM. [26]

3.3.1. 2.4 GHz

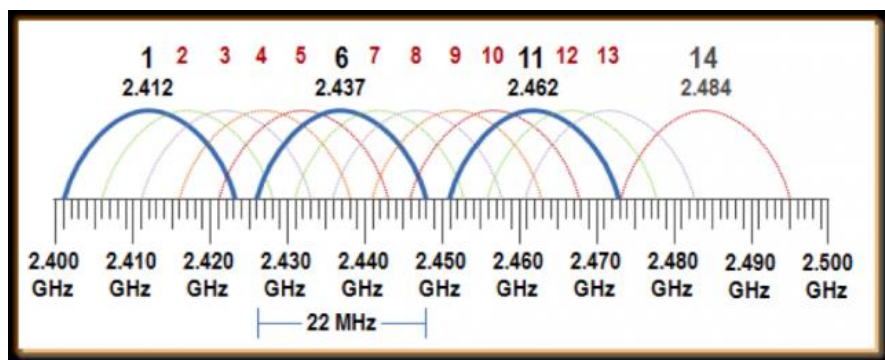
Frekvencijski pojas od 2.4 GHz sadrži do 14 kanala, međutim broj iskorištenih kanala ovisi o zemlji ili regiji u kojoj se koristi, npr. u Kanadi se koristi 12 kanala, u Sjedinjenim Američkim Državama, Europi i ostatku svijeta 13, dok se 14. kanal koristi samo u Japanu. [26] Kanali su razmaknuti 5 MHz te se svaki idući kanal preklapa u 75% pojasa prethodnog kanala što je rezultat uskog raspoloživog frekvencijskog pojasa. Moguće je konfigurirati samo tri (3) kanala, a da se istovremeno međusobno ne preklapaju, a to su 1., 6., i 11. kanal. U praksi se kod 802.11b/g uglavnom samo ta tri kanala i koriste. Kanali su širine 22 MHz, ali postoji mogućnost njihovog proširenja na 40 MHz. [2] Plan iskoristivosti kanala prikazan je na slici 3.

²⁰ HTTP protokol kojeg koristi *World Wide Web*, a definira kako se formatiraju i prenose poruke.

²¹ SMTP je protokol koji se koristi za prijenos elektroničkih poruka.

²² POP je originalni protokol kreiran za primanje email poruka.

²³ FTP je protokol koji se koristi za razmjenu poruka baziranih na TCP protokolu.

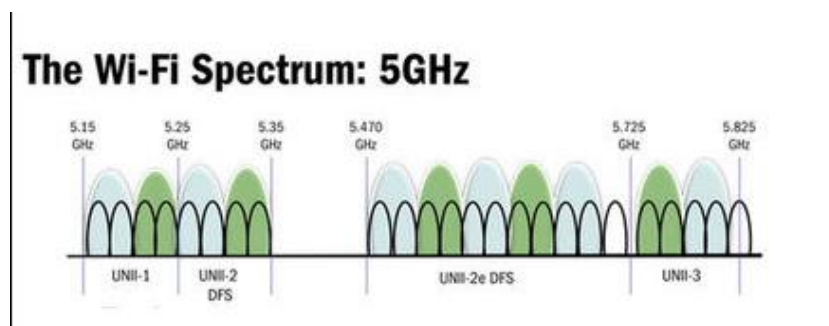


Slika 3. Plan iskoristivosti kanala frekventijskog pojasa od 2.4 GHz, [27]

Ukoliko se *bandwidth* proširi na 40 MHz, što je slučaj kod 802.11n, moguće je koristiti 8 kanala međusobnog razmaka od 3 MHz. Međutim zbog uskog frekventijskog pojasa moguće je implementirati jedan kanal. To je učinkovito na mjestima gdje je dovoljna jedna pristupna točka, npr. kuća. Time se može postići značajno poboljšanje propusnosti. S obzirom da je frekvencija od 2.4 GHz preopterećena te je, posebice na većim prostorima, potrebna više od jedne pristupne točke, isključuje se učinkovita primjena kanala širine 40 MHz. [2]

3.3.2. 5 GHz

Frekventijski pojas od 5 GHz se uglavnom koristi kada je frekvencija od 2.4 GHz preopterećena. Većina današnjih usmjerivača, pametnih telefona i ostalih mrežnih uređaja koristi dvopojasnu tehnologiju kako bi mogli pristupiti objema frekvencijama. 5 GHz ne samo da pruža širi spektar već se susreće i s manjom interferencijom iz razloga što kućanski i drugi uređaji uglavnom koriste frekvenciju od 2.4 GHz. Samim time moguće je ostvariti veće brzine prijenosa na ovoj frekvenciji. Sadrži 24 kanala, ali broj moguće iskoristivih također ovisi o regiji. Kanali su široki po 20 MHz i centralne frekvencije su im također odvojene 20 MHz te je svaki kanal numeriran određenim brojem. [2] Plan iskoristivosti kanala prikazan je slikom 4.



Slika 4. Plan iskoristivosti kanala frekventijskog pojasa od 5 GHz, [29]

Ako se koriste prošireni kanali od 40 MHz, u ovom frekvencijskom pojasu ne dolazi do preklapanja i oni se mogu slobodno koristiti. Kanale je moguće spojiti od 40 MHz do 160 MHz, međutim moguća je interferencija s vremenskim radarom. [2], [28]

4. Programski alati za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže

Programski alati korišteni u praktičnom dijelu ovog završnog rada su *PRTG Network Monitor*, *Obkio*, *Fing* i *Network Analyzer Pro*. U nastavku ovog poglavlja bit će navedena određena prethodna istraživanja vezana za primjenu Wi-Fi-ja u javnom gradskom prijevozu te će biti opisani programski alati pomoću kojih je provedeno istraživanje opisano u ovom završnom radu. Odabrani su oni programski alati koji su dostupni svim korisnicima, relativno su jednostavni za uporabu i imaju mogućnost instaliranja na vlastiti mobilni terminalni uređaj. Također, većina ovih programskih alata ima besplatno probno razdoblje korištenja, ali se nakon tog probnog razdoblja plaća.

4.1. Prethodna istraživanja

Implementacijom Wi-Fi mreže u vozila javnog gradskog prijevoza, javila se ideja iskoristivosti Wi-Fi-a u smislu mjerenja raznih podataka, a najčešći mjereni podatak je broj putnika prevezen određenim vozilom javnog gradskog prijevoza.

Znanstveni članak [30] sadrži pregled velikog broja ispitivanja brojanja putnika u javnom prijevozu na temelju Wi-Fi mreže, a jedno od opisanih istraživanja je ono provedeno u gradu *Charlottesville* u SAD-u [31]. U tome istraživanju je provedeno brojanje putnika u autobusu na temelju prikupljanja MAC adresa te kamerama koje su bilježile stvaran broj putnika. Dobivena je preciznost od 91 % te se zaključuje da je brojanje putnika temeljem Wi-Fi mreže jeftino i održivo rješenje, visokog potencijala. Sljedeće opisano istraživanje [32] je provedeno u Japanu na *hop-on-hop-off* tipu autobusa. Prikupljale su se MAC adrese, pomoću Wi-Fi skenera te GPS podataka, a rezultati su pokazali visoku stopu sličnosti. U sljedećem opisanom istraživanju [33] se uspoređuje broj zahtjeva za spajanje na Wi-Fi mrežu sa stvarnim, ručno izbrojanim brojem putnika. Rezultati su pokazali visoku sličnost te je utvrđeno da je ova metoda adekvatna za procjenu broja putnika, međutim nije pogodna za računanje točnog broja putnika i prosječnog vremena čekanja. Razmatrano istraživanje [33] nije bilo provedeno u javnom gradskom prijevozu, već u dvorani s velikim brojem ljudi. Opisano je istraživanje [34] brojanja putnika detektiranjem pametnih mobitela spojenih na određenu pristupnu točku te mjerenje snage njihovog signala. Izmjereni rezultati se zatim šalju poslužitelju, a on utvrđuje koliko ima spojenih uređaja te na temelju snage signala, koliko su udaljeni od pristupne točke. Navedena istraživanja su bila provedena u laboratorijskim uvjetima. Još jedno istraživanje [35] provedeno je u Dublinu u Irskoj, mjeren je protok putnika u autobusima, a temelji se na mobilnoj aplikaciji koja detektira druge mobilne uređaje preko Wi-Fi-a ili *Bluetooth-a*. Dobrovoljci su na tjedan dana instalirali aplikaciju na vlastiti mobilni uređaj te ju aktivirali prilikom ulaska u autobus. Rezultati ovog ispitivanja su pokazali točnost od 88 %.

U istraživanju [36] provedeno je mjerenje snage i kvalitete Wi-Fi signala u ZET-ovim tramvajima. Istraživanje je provedeno u tri različite tramvajske linije u tri različita doba dana (jutro, podne, večer), pomoću dvije mobilne aplikacije za analizu Wi-Fi mreže. Rezultati dobiveni istraživanjem pokazuju da nema prevelikih varijacija što se tiče snage signala u svim razdobljima i linijama mjerenja, no brzina prijenosa je vrlo promjenjiva. Izmjerena je i velika količina interferencije, razlog tome je emitiranje signala na frekvenciji od 2.4 GHz koju koriste skoro svi terminalni uređaji u okolini tramvajske mreže. S obzirom da je ispitivanje provedeno na jednom mjestu unutar tramvaja, dolazi se do zaključka da broj korisnika spojenih na Wi-Fi mrežu utječe na brzinu prijenosa te da bi se smanjila interferencija ako bi se signal emitirao na frekvenciji od 5 GHz.

Istraživanje [37] prikazuje rezultate ispitivanja otkrivanja mobilnih uređaja s uključenom Wi-Fi opcijom i spojenih na određenu pristupnu točku. Ispitivanje je provedeno na ograničenom broju mobilnih uređaja s operativnim sustavima *iOS* ili *Android*, a u svrhu brojanja putnika u tramvaju. Ispitivanja su provedena na temelju podataka koje emitiraju pristupna točka i mobilni uređaji, pomoću Wi-Fi softvera koji otkriva i prikuplja jedinstvene Mac ID adrese mobilnih terminalnih uređaja u svom dometu i prati ih sve dok ne napuste područje dometa. Rezultati su pokazali da noviji mobilni terminalni uređaji bolje reagiraju na ispitivanje od starijih, neovisno o operativnom sustavu. Istraživanjem je zaključeno da je brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu, pomoću Wi-Fi mreže, tehnički moguća opcija, no nedostatak je taj što nemaju svi putnici mobilni terminalni uređaj (npr. djeca) pa rezultati ne mogu biti precizni.

4.2. PRTG Network Monitor

PRTG Network Monitor je programski alat koji pruža rješenje za nadzor mreže temeljeno na oblaku što znači da se sve informacije pohranjuju i upravljaju na Internetu. Ovaj programski alat je pogodan za male, srednje i velike poslovne korisnike u različitim područjima. Kompatibilan je sa sustavom *Windows 7* ili novijim. Primarne značajke ovog programskog alata uključuju nadzor mreže, nadzor propusnosti, upozorenja, objavljivanje podataka, podršku za prilagođavanje i izvješćivanje.

PRTG Network Monitor korisnicima omogućuje nadzor uređaja, mrežnog prometa i aplikacija na mrežnoj infrastrukturi. Programski alat pomaže administratorima i tehničkom osoblju u praćenju prekida rada mreže, analiziranju mrežnih veza, praćenju kvalitete mreže i poštivanju sporazuma o razini usluge.

PRTG Network Monitor pomaže korisnicima u praćenju vremena rada i zastoja pojedinog uređaja ili cijele mreže pomoću jedne glavne konzole. Prilagodljiva nadzorna ploča prikazuje podatke o mrežnim performansama i statusu u stvarnom vremenu za sve uređaje. Administratori mogu daljinski slati ažuriranja ili instalirati nove aplikacije na različite uređaje pomoću glavne konzole.

Programski alat nudi besplatno probno razdoblje od 30 dana, nakon toga se plaća, a početna cijena je 1300 dolara. Postoji i *PRTG* mobilna aplikacija koja se može povezati s alatom te korisniku omogućuje pregled čitavog mrežnog okruženja kojeg se promatra. Aplikacija je dostupna na engleskom, njemačkom i nizozemskom jeziku, a zauzima memoriju od 15,5 MB. Dostupna je za *iOS*²⁴, *Android*²⁵ i *Windows*²⁶ operativne sustave, a zahtijeva *iOS 11.0* ili noviji. Aplikacija je kao i programski alat *PRTG Network Monitor* razvijena od strane razvojne tvrtke *Paessler AG*. [38]

4.3. Obkio

Obkio je programski alat za praćenje performansi računalnih mreža temeljen na oblaku, odnosno sve informacije se pohranjuju i upravljaju na internetu. *Obkio* korisniku služi kao programski alat za analizu sesije i prikupljanje podataka. Ključne značajke ovog programskog alata uključuju rješavanje problema s propusnošću, analizu mreže, reviziju povijesti, simulaciju krajnjeg korisnika i upravljanje implementacijom.

Programski alat dolazi s modulom koji šalje pakete koji simuliraju perspektivu krajnjeg korisnika i automatski ažurira implementirani softver. Centralizirana nadzorna ploča korisnicima prikazuje mrežne podatke i grafičke prikaze performansi te ima mogućnost slanja obavijesti korisniku.

Obkio ima mogućnost analize i mjerenja parametara performansi u stvarnom vremenu te mogućnost usporedbe izmjerenih podataka. Za mjerenje parametara performansi potrebna je instalacija agenta, odnosno softvera preko kojeg se prate aktivnosti na vlastitom računalu, pružateljima usluga ili bilo kojem uređaju na mreži.

Programski alat *Obkio* je pogodan za sve vrste korisnika, od slobodnih korisnika do malih, srednjih ili velikih poslovnih korisnika. Podržava *Windows*, *Linux*²⁷, *Mac OS*²⁸, *iOS* i *Android* operativne sustave. Zahtjeva *iOS 11* ili noviji. Radi samo na engleskom jeziku, a razvijena je od strane kanadske tvrtke *Obkio Inc.* Zauzima 70,1 MB memorije. Aplikacija nudi besplatni probni period od 14 dana, nakon toga postoje tri paketa od kojih je jedan besplatan, a najskuplji 39 dolara mjesečno, ovisno o uslugama koje nude. Postoji i *Obkio* mobilna aplikacija preko koje se može pratiti aktivnost uređaja na kojem je instaliran agent. [39]

²⁴ *iOS* je mobilni operativni sustav razvijen od tvrtke *Apple Inc.*

²⁵ *Android* je otvoreni mobilni operativni sustav razvijen od tvrtke *Google Inc.*

²⁶ *Windows* je vlasnički operativni sustav tvrtke *Microsoft*.

²⁷ *Linux* (engl. kernel) je ime za jezgru računalnog operacijskog sustava sličnog *Unixu*, ali najčešće i za cijeli operacijski sustav baziran na toj jezgri.

²⁸ *Mac OS* je operativni sustav koji je razvila tvrtka *Apple Inc.* za svoja računala.

4.4. Fing

Fing je mobilna aplikacija koja služi za mrežnu dijagnostiku, a koristan je i kod otkrivanja neželjenih uređaja spojenih na mrežu. Pogodna je za korištenje na kućnoj mreži, ali i u poslovne svrhe te na mrežama većih objekata ili javnih mreža. Aplikacija je besplatna i nije potrebna registracija za njeno korištenje no postoji i *premium* verzija aplikacije kod koje je potrebna registracija i plaća se 65kn mjesečno ili 559kn godišnje. Aplikacija zauzima 46,5 MB memorije i dostupna je na 16 jezika, međutim hrvatski nije jedan od njih. Razvijena je od strane razvojne programerske tvrtke *Fing Limited*. Aplikacija je dostupna za *iOS* i *Android* operativne sustave, ali i za *Windows*, *Linux* i *Mac OS* operativne sustave. Zahtijeva *iOS 12.1* ili noviji.

Aplikacija sadrži set mrežnih dijagnostičkih alata kao što su skeniranje mreže i prepoznavanje uređaja spojenih na mrežu, skeniranje otvorenih portova, *ping*, *traceroute*, *wake on LAN*, prepoznavanje pružatelja usluge te mogućnost pregleda osnovnih informacija i recenzija o pružatelju usluge i testiranje brzine internetske veze.

Fing ima relativno precizno detekciju uređaja prema njihovim fizičkim MAC adresama. Nudi pristup informacijama o samoj mreži kao i o uređajima koji su dostupni. Kako omogućuje i skeniranje portova, na detektirane servise se može i spajati korištenjem eksternih aplikacija.

Kao što je ranije spomenuto, postoji i *premium* verzija ove aplikacije. Premium verzija, uz sve prethodno nabrojane mogućnosti, nudi i dodatne mogućnosti kao što su upozorenja kada se u lokalnoj mreži pojavi neovlašteni uređaj, detekciju sigurnosnih ranjivosti usmjerivača, provjeru postoje li u mreži kakve skrivene kamere, prošireni set alata i drugo. [40]

4.5. Network Analyzer Pro

Network Analyzer Pro je napredni programski alat za mrežnu dijagnostiku, LAN i WLAN skeniranje te detektiranje mrežnih problema. *Network Analyzer Pro* je mobilna aplikacija dostupna samo za *iOS* i *Android* operativne sustave. Zahtijeva verziju *iOS 13.6* ili noviju. Razvijena je od strane programerske tvrtke *Jiri Techet*. Dostupna je samo na engleskom jeziku i zauzima 9,5 MB memorije. Aplikacija nije besplatna, već se plaća 34,99kn. Postoji i besplatna verzija ove aplikacije, međutim ta verzija ima samo mogućnost skeniranja i otkrivanja uređaja u mreži, što je neusporedivo u odnosu na mogućnosti verzije koja se plaća.

Ova aplikacija pruža širok spektar raznih alata te je zbog toga korisna kod dijagnostike raznih problema u Wi-Fi mrežnim postavkama, internet povezanosti pa čak i kod prepoznavanja raznih upitnih aktivnosti na udaljenim serverima.

Aplikacija je opremljena alatom za brzo prepoznavanje uređaja spojenih na promatranoj Wi-Fi mreži. To uključuje imena i adrese LAN uređaja te *Bonjour* ili DLNA (engl. *Digital Living Network Alliance*) usluge koje ti uređaji pružaju. Nadalje, *Network Analyzer Pro*

sadrži i standardne alate za mrežnu dijagnostiku, kao što su *ping*, *traceroute*, skener portova, otkrivanje sustava domenskih imena (engl. *Domain Name System*, DNS), *WHOIS* te mjerac brzine internetske veze. Na temelju svih tih alata aplikacija omogućuje uvid u informacije vezane za Wi-Fi vezu ili za ćelijsku vezu. [41]

5. Usporedba programskih alata za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže

U ovom poglavlju rada bit će navedene značajke svakog programskog alata za ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže koji su se koristili u praktičnom dijelu ovog rada. Svaki programski alat ima određene prednosti, ali i neke nedostatke koji će također biti navedeni. Na posljepku će svi programski alati biti uspoređeni po određenim ključnim parametrima.

5.1. Karakteristike alata PRTG Network Monitor

Korištenje programskog alata PRTG Network Monitor zahtjeva instalaciju na vlastito računalo. Program se preuzima sa službene mrežne stranice te se zatim instalacija programskog alata i ostalih potrebnih komponenti odradi vrlo jednostavno, a nakon toga je potrebna registracija. Alat je prilično zahtjevan te besplatno probno razdoblje od 30 dana možda nije dovoljno da bi se u potpunosti ovladalo ovim alatom, posebice ako se korisnici prvi put susreću s takvim tipom programskog alata.

Prilikom prve prijave pokreće se proces instalacije te se aktivira funkcija automatskog otkrivanja uređaja. Alat automatski skenira mrežu tako što šalje *ping* svakoj IP adresi u podmreži *PRTG* osnovnog poslužitelja (koji se preuzima prilikom instalacije programa) te dodaje sve dostupne uređaje specifičnoj strukturi za nadzor mreže. Pametno postavljanje skenira samo IP adrese u rasponima privatne mreže, a naknadno je moguće ručno pokrenuti automatsko otkrivanje za druge podmreže. *PRTG* raspoređuje sve objekte u konfiguraciji u hijerarhiju nalik stablu, a ti objekti se zatim mogu rasporediti u grupe koje prate slične uređaje, usluge ili određene lokacije. Objekti hijerarhije su:

- **Korijenska grupa** – Najviši objekt hijerarhije, sadrži sve ostale objekte. Postavke koje se primjene na ovoj grupi, primjenjuju se i na svim ostalim objektima.
- **Ispitivačka grupa** – Grupa gdje se odvija nadzor. Automatski se konfigurira instalacijom osnovnog *PRTG* poslužitelja. Može se i ručno dodati za nadzor uređaja van mreže.
- **Grupa** – Ima strukturnu namjenu. U nju se dodaju uređaju koji se zatim mogu rasporediti tako da određena grupa dijeli iste postavke.
- **Uređaj** – Može biti web poslužitelj, usmjerivač, preklopnik, klijentsko računalo ili bilo koji drugi mrežni uređaj koji ima svoju IP adresu. *PRTG* automatski analizira dodane uređaje i preporučuje odgovarajuće senzore na uređaju.
- **Senzor** – Na svaki uređaj se može dodati više senzora, a služe za nadziranje pojedinačnog aspekta uređaja, kao što su:
 - Mrežna usluga kao što je SMTP, FTP ili HTTP
 - Promet na mrežnom preklopniku

- Opterećenje procesora uređaja
 - Iskoristivost memorije uređaja
 - Promet na mrežnoj kartici
 - Itd.
- **Kanal** - Svaki senzor ima niz kanala kroz koje prima različite tokove podataka. Dostupni kanali ovise o vrsti senzora. Jedan kanal može sadržavati:
 - Vrijeme rada i zastoja rada uređaja
 - Promet unutar, van ili ukupan promet propusnog opsega uređaja
 - Vrijeme odgovora *ping* zahtjeva na uređaj itd.

Senzori su ključan dio programskog alata jer se pomoću njih mjere svi parametri promatrane računalne mreže. Postavljanje senzora je moguće izvesti ručno ili je moguće odabrati automatsko postavljanje preporučenih senzora za pojedini uređaj. Neki oblik neaktivnosti senzora rezultira slanjem upozorenja, odnosno alarma, a status senzora označen je bojom, na primjer:

- **Crvena** – Status neaktivnosti. *PRTG* ne može doći do uređaja ili je senzor otkrio pogrešku. U tom slučaju senzor ne bilježi nikakve podatke u svoje kanale dok god je prikazan status neaktivnosti. Druga mogućnost je ta da senzor bilježi grešku u postavkama kanala, a u tom slučaju senzor bilježi podatke u svim kanalima bez obzira na status.
- **Crvena/zelena** – Status djelomične neaktivnosti. Jedan izvor može pokazivati neaktivnost senzora dok drugi može pokazivati aktivnost tog istog senzora.
- **Ružičasta** – Status neaktivnosti senzora za kojeg je primljena obavijest i zna se da je neaktivan.
- **Žuta** – Status upozorenja. Senzor je otkrio pogrešku.
- **Narančasta** – Senzor prijavljuje neobičnu aktivnost za određeno doba dana, surađuje sa poviješću izmjerenih podataka. Ova opcije se može isključiti.
- **Zelena** – Sve je u redu i senzor prikuplja podatke.
- **Plava** – Senzor je pauziran.
- **Siva** – Senzor ne prikuplja podatke zbog greške u mrežnoj komunikaciji.

Jedan od osnovnih parametara koji se mogu mjeriti programskim alatom *PRTG* je gubitak paketa. Postoji velik broj senzora za mjerenje gubitka paketa, a ovisno o odabiru moguće je utvrditi zbog čega se događa gubitak paketa (npr. ograničen *bandwidth* ili hardverski problemi), te je samim time lakše i riješiti problem. Ovim tipom senzora moguće je mjeriti i druge parametre kao što su *jitter*, kvaliteta prijenosa govora putem Interneta (engl. *Voice over IP*, VoIP), *Round Trip Time* i dr.

Sljedeća mogućnost *PRTG* programskog alata je *NetFlow* analiza. *NetFlow* analiza se bazira na SNMP protokolu, a pomoću nje je moguće mjeriti parametre poput *bandwidth*-a i mrežnog prometa. Za ovaj tip analize također postoji velik broj senzora pomoću kojih se lako može utvrditi kvaliteta i razina internetske usluge.

Još jedna mogućnost ovog programskog alata je nadzor *Cloud* servisa. U tu kategoriju se ubrajaju senzori koji se baziraju na HTTP protokolu, a ti senzori mogu mjeriti vrijeme mrežnog odaziva prema raznim mrežnim poslužiteljima, kao što su: *Amazon, Google, Bing* i dr. Još jedan takav tip senzora je *Ping* koji mjeri vrijeme potrebno da uređaj pošalje određeni upit i dobije odgovor na njega.

Moguća je i izrada vlastitih senzora pomoć raznih skripti koje mogu biti samostalno kreirane, ali mogu biti i preuzete sa službene PRTG stranice ili sa službenih foruma. Primjer tako kreiranog senzora jest senzor za mjerenje razine signala internetske mreže.

Uz sve navedeno, programski alat PRTG nudi još mnogo mogućnosti kao što su: iskoristivost memorije uređaja, korištenje procesora, nadgledanje baza podataka (npr. Microsoft SQL, My SQL i dr.) i dr. Međutim te mogućnosti se neće koristiti u svrhu ovog rada.

Pregled izmjerenih podataka je moguć na nekoliko načina, a to je numerički, grafički i pomoću pokazivača. Pokazivači su vizualni prikaz vrijednosti kanala, a moguće ih je označiti i poredati po željenom prioritetu. Pregled podataka je moguć za sve hijerarhijske objekte, a ne samo senzore te je moguć pregled u posljednjih 2, 30, i 365 dana, a podaci koji se prikazuju ovise o tipu odabranog objekta. Prikaz povijesnih podataka je moguć samo u obliku grafikona i tablica, a također je moguć i ispis svih podataka, bilo povijesnih ili u stvarnom vremenu.

Mobilnom aplikacijom mogu se nadgledati i upravljati parametri mjerenja, ali samo mjerenje nije moguće obaviti putem mobilnog uređaja. Mobilna aplikacija pokriva sve funkcionalnosti kao i desktop verzija. [42]

5.2. Karakteristike alata Obkio

Mrežnim alatom *Obkio* mogu se mjeriti performanse mreže, uređaja i aplikacija. Alat nije potrebno instalirati već mu se pristupa na webu te je jedino potrebna registracija. Mjerenje performansi mreže obavlja se između dviju lokacija pomoću agenata koji se moraju instalirati na svaku lokaciju. U ovom slučaju agenti su se instalirali na osobno računalo i na javnu mrežu *Google*.

Agent je jedinstveni softver koji je razvijen u svrhu provođenja testova za mjerenje performansi mreže i aplikacija. Agenti se instaliraju na lokaciji gdje se želi odraditi mjerenje, a postoje četiri tipa agenta.

- **Software** - Softverski agent instaliran je izravno na novi ili postojeći sustav, u ovom slučaju, na osobno prijenosno računalo. Kao i sve ostale vrste agenata, nakon što se instalira, agent se automatski ažurira. Ažuriranja operativnog sustava su odgovornost korisnika. Postoje dvije verzije softverskog agenta:
 - Windows - Agent je predviđen za *Windows* operativne sustave te za lokalne i za udaljene korisnike. Može se masovno instalirati s alatima za

automatsko postavljanje i potpuno je transparentan za krajnjeg korisnika.

➤ Linux - *Linux Software Agent* predviđen je za *Linux* poslužitelje.

- **Hardware** – Vanjski prijenosni uređaj koji se kablom povezuje na uređaj koji se želi nadgledati. Na hardverskom uređaju nema konfiguracije koja se može napraviti jer se sve radi u aplikaciji *Obkio*. Uparivanje između hardverskog uređaja i agenta vrši se serijskim brojem koji je otisnut na hardverskom uređaju.
- **Virtualni uređaj** – Agent u obliku virtualnog uređaja je sličan kao i hardverski uređaj. Ažuriranja operativnog sustava za virtualni uređaj izvode *Obkio* sustavi, što ga čini vrlo jednostavnim za održavanje.
- **Javni** – Najmanje kompliciran tip agenta. Već je instaliran na javne poslužitelje i njime upravlja *Obkio* tim za podršku

Nakon što se instaliraju agenti postavlja se sesija nadziranja. Sesija se konfigurira između dva agenta, a sustav automatski odabire jednog agenta za klijenta, a drugog za poslužitelja. Funkcionira na način da klijentski agent šalje paket poslužitelju svakih 500 milisekundi, a poslužitelj odgovara kad primi paket. Oba agenta dodaju podatke o mjerenju unutar paketa. Ako je sesija pravilno uspostavljena potrebno je desetak minuta da se prikažu prvi izmjereni podaci. Sesija može imati jedan od četiri statusa, a oni su prikazani bojama:

- **Crvena** – Sesija nije aktivna
- **Žuta** – Sesija je usporena
- **Zelena** – Sesija je aktivna i u redu
- **Siva** – Nema podataka, nepoznat status ili je agent u procesu održavanja

Ukoliko postoji nekakav mrežni problem, status se mijenja ovisno o ozbiljnosti problema:

- **Kritično** – Tamno crven
- **Pogreška** – Svijetlo crveno
- **Upozorenje** – Tamno žuto
- **Informacija** – Svijetlo žuto
- **OK** – Zeleno

Status aktivnosti između agenata prikazan je akordnim dijagramom. Agente, ako ih je više, je moguće filtrirati po grupama te je još moguć prikaz detaljnih informacije o pojedinom agentu.

Jednom kada je uspostavljena sesija moguć je pregled rezultata parametara latencije, *jitter*, i gubitka paketa. Rezultati tih parametara detaljno se prikazuju grafički, a podaci na grafikonu mogu se pratiti uživo ili se može odrediti period koji može varirati od minuta do tjedana i mjeseca. Ukoliko se želi ispisati grafikon u željenom periodu promatranja, to je moguće u nekoliko formata. Prilikom započinjanja sesije moguće je odabrati i neke napredne opcije, kao na primjer, detektiranje dupliciranja paketa, detektiranje promjene redoslijeda paketa itd.

Sljedeća mogućnost ovog programa je test brzine. Kako bi se pokrenuo test brzine, potrebno je odabrati dva agenta (klijent i server) između kojih se želi mjeriti brzina prijenosa. Opcionalno se može odrediti maksimalna brzina prijenosa za oba smjera u Mbps, a ako se ne unese, nema ograničenja i test brzine će se pokušati prenijeti što je brže moguće. Moguće je još regulirati i neke napredne parametre poput broja paralelnih TCP tokova i trajanja testa.

Sljedeća mogućnost je *Traceroute*. *Traceroute* pokazuje koliko je hopova potrebno paketu prije nego što stigne do odredišta. Podijeljeni su u dvije kategorije, od klijenta prema serveru i od servera prema klijentu te postoje tri vrste:

- **Live Traceroutes** – za rješavanje problema u stvarnom vremenu
- **Periodic Historical Traceroutes** - za uspoređivanje prethodnih ruta
- **Triggered Traceroute** – za rješavanje problema koji su se već dogodili

Posljednja mogućnost ovog alata je mjerenje kvalitete prijenosa govora putem interneta (engl. *Voice Over IP*, VoIP). Srednja ocjena mišljenja (engl. *Mean Opinion Score*, MOS) je raspon ocjena od 1 do 5 (1 je najlošije, 5 najbolje) koji označava kvalitetu glasovnog poziva, a razvijen je od strane međunarodne telekomunikacijske unije (engl. *International Telecommunications union*, ITU-T). MOS ocjenama su prikazani rezultati mjerenja kvalitete VoIP-a, a ta kvaliteta u sesiji mjerenja je prikazana grafički.

Mobilnom aplikacija *Obkio* moguće je nadgledati sva mjerenja jer ima identično sučelje kao i program na računalu, ali s obzirom da su klijentski agenti predviđeni samo za *Windows* i *Linux* operativne sustave, a na većini mobitela nije moguće instalirati agenta, mobilnim uređajem se ne mogu mjeriti performanse računalne mreže. Programski alat je vrlo koristan i ima mnogo mogućnosti, ali besplatno probno razdoblje od 14 dana možda nije dovoljno da bi se u potpunosti ovladalo ovim alatom. [43]

5.3. Karakteristike alata Fing

Fing je jedna od najboljih besplatnih aplikacija za analizu Wi-Fi mreže, a unutar same aplikacije moguća je diskusija s ostalim korisnicima te registracija i kupnja *premium* verzije.

Jedna od osnovnih funkcija programskog alata *Fing* je skeniranje uređaja u mreži te je moguć prikaz informacija o modelu, operativnom sustavu, proizvođaču, klasi, IP adresi i imenu hosta za svaki uređaj. Za većinu uređaja u mreži biti će vidljiva ipak samo njihova IP adresa, ali postoji opcija unosa imena, lokacije te proizvoljnih bilješki za svaki uređaj. Svaki uređaj je moguće označiti zvjezdicom ili zastavicom, zvjezdica označava da je uređaj favorit, a zastavica da je uređaj bitan, npr. usmjerivač je u startu označen zastavicom, a sam popis uređaja je moguće filtrirati ili poredati ovisno o željenim parametrima. Moguć je i pregled mrežnih informacija, a one se sastoje od imena mreže, broja spojenih uređaja, statusa (javna ili privatna), informacija o pristupnoj točki (Identifikator skupa usluga (engl. *Service Set*

Identifier, SSID) i Identifikator skupa osnovnih usluga (engl. *Basic service set identifiers*, BSSID)), mrežne maske, adrese pristupnika te DNS adrese. Aplikacija nudi i informacije o poslužitelju kao što su javna adresa, ime hosta, lokacija, vremenska zona i samo ime poslužitelja, a moguća je i usporedba brzine s drugim internet poslužiteljima

Još jedna mogućnost ovog programskog alata je test brzine kojim se grafički prikazuje brzina prijenosa podataka za preuzimanje ili slanje podataka, latencija te lokaciju hosta, a moguć je i pregled povijesti testova brzina.

Programski alat još nudi alate za rješavanje mrežnih problema, kao što je skener otvorenih portova, koji služi za skeniranje uređaja radi provjere otvorenih portova s dostupnim uslugama. Sljedeći takav alat je *Ping* koji mjeri latenciju od vlastitog uređaja prema internetu. Posljednji takav alat je *Traceroute* koji pokazuje koliko je hopova potrebno prije nego li podatak stigne do odredišta. Za svaki od navedenih alata potrebno je upisati IP adresu ili domenu uređaja za koji se vrši provjera te se zatim odabire odredište, ali postoji i ponuda popularnih odredišta, kao što su *Google*, *Facebook*, *Amazon* i dr. U *premium* verziji se još dobiva alat kojim se može provjeriti ranjivost usmjerivača te alat za pronalazak skrivenih kamera.

Aplikacija nudi i pregled karte svijeta na kojoj se može pratiti nestanak interneta na lokalnoj i globalnoj razini, uživo ili u bližoj povijesti. Nestanci su naznačeni žutom i crvenom bojom.

5.4. Karakteristike alata Network Analyzer Pro

Network Analyzer Pro je programski alat za skeniranje mreže, analizu i otkrivanje problema.

Povezivanjem na Wi-Fi mrežu se ispisuju informacije koje uključuju IP adresu zadanog pristupnika, IP adresu DNS servera te vanjsku IP adresu preko koje se još može saznati ime hosta i njegova lokacija. Nadalje se ispisuju informacije o samoj Wi-Fi mreži uključujući status konekcije, SSID, BSSID, IP adresu, masku podmreže i količinu poslanih odnosno primljenih podataka. Nadalje se ispisuju podaci o telefonskoj mreži poput tipa mreže, IP adrese, imena podnosioca, kod države, dostupnost VOIP-a, snagu signala i količinu poslanih/primljenih podataka. Ukoliko je uređaj spojen na virtualnu privatnu mrežu (VPN), programski alat automatski ispisuje podatke o VPN konekciji, a navedene informacije se razlikuju ovisno o operativnim sustavima te tako *iOS* nudi informacije o IP adresi, maski podmreže i količinu poslanih/primljenih podataka.

Jedna od osnovnih mogućnosti ovog programskog alata je skeniranje svih IP adresa ili raspona IP adresa po želji, na mreži na koju je povezan te otkrivanje svih uređaja na toj istoj mreži. Postoji i mogućnost *Wake-On-LAN* (WoL) koji šalje poseban paket uređaju s uvjetnom MAC adresom. Moguć je pregled povijesti skeniranja koja sadrži informacije o svim skeniranim

mrežama, a tu povijest je moguće pregledati bez obzira što uređaj možda nije trenutno spojen na mrežu. Nakon završetka skeniranja moguć je pregled informacija o detektiranim uređajima, poput imena uređaja, IP adrese i MAC adrese. Obzirom da *iOS 11* aplikacije nemaju pristup MAC adresama, informacije o imenu nisu dostupne već je vidljiva samo IP adresa. Svojstva i mogućnosti detektiranih uređaja naznačena su bojama:

- **P - Zeleno** – uređaj odgovara na *Internet Control Message Protocol* (ICMP) ping zahtjev
- **B - Smeđe** – uređaj pruža *bonjour* usluge
- **U - Plavo** – uređaj pruža UpnP/DLNA usluge
- **G - Crveno** – uređaj je pristupnik
- **S - Žuto** – uređaj s kojim se vrši skeniranje
- **6 - Ljubičasto** – poznate su IPv6 adrese

Nad detektiranim uređajima u mreži moguće je obavljati još niz aktivnosti, pomoću alata kao što su *ping*, *traceroute*, *portscan*, *whois* i *DNS lookup*, a moguć je pregled i povijest aktivnosti. Kako bi se alati mogli koristiti potrebno je upisati željeno ime domene ili IP adresu. Alat *ping* služi za mjerenje vremena koje je potrebno da uređaj pošalje određeni upit i dobije odgovor na njega ili za utvrđivanje dostupnosti analiziranog uređaja. Za ispravan rad usmjerivač ne smije filtrirati ICMP pakete, a prijemni uređaj mora odgovoriti na ping zahtjeve. Pregledom pojedinog paketa dostupne su informacije o tom paketu, poput IP adrese, vremena slanja paketa te ako je dostupno, ime i lokacija hosta.

Posljednja mogućnost ovog programskog alata je test brzine mreže. Test traje oko tridesetak sekundi i prikazuje rezultate brzine za preuzimanje i slanje podataka u grafičkom obliku te u Mbps i MB/s.

5.5. Usporedba korištenih alata

Programski alati se međusobno razlikuju po raznim mogućnostima i funkcionalnostima. Tablicom 3. prikazana je usporedna analiza svih programskih alata prema cijeni, osnovnim funkcijama te prednostima i nedostacima.

Tablica 3. Usporedba programskih alata [40], [41], [42], [43]

Programski alati / Značajke	PRTG Network Monitor	Obkio	Fing	Network Analyzer Pro
Operativni sustavi s kojima je kompatibilan	<i>Windows</i>	<i>Windows, Linux, MAC OS, iOS, Android</i>	<i>Windows, Linux, MAC OS, iOS, Android</i>	<i>iOS, Android</i>
Cijena	- Cijena je u rasponu od 1300 dolara do 12500 dolara, ovisno o paketu - Besplatno probno razdoblje od 30 dana	- Besplatno probno razdoblje od 14 dana - Ovisno o paketu: postoji besplatna verzija, osnovna od 295 dolara godišnje i <i>premium</i> verzija od 397 dolara godišnje	Besplatno	34,99kn
Osnovne funkcije	- Nadziranje hardverskih uređaja, mrežnih uređaja, propusnosti mreže, aplikacija i virtualnih servera - Nadziranje i obavješćavanje o prestancima rada senzora, servera itd. - Nadziranje uporabe sustava, npr. opterećenje procesora, iskorištenje memorije, itd. - Mjerenje kvalitete usluge (engl. <i>Quality of Service</i>, QoS) i VoIP parametara - Otkrivanje sumnjivih uređaja na mreži - Otkrivanje sigurnosnih problema mreže i njenih elemenata - Kreiranje statistike na temelju izmjerenih vrijednosti - Klasificiranje mrežnog prometa na temelju izvora, odredišta ili sadržaja	- Kontinuirano praćenje mrežnih performansi pomoću agenata. - Razmjena sintetičkog prometa za mjerenje performansi. - Praćenje iz perspektive krajnjeg korisnika. - Decentralizirano praćenje između parova agenata na različitim lokacijama. - Ažuriranje performansi mreže u stvarnom vremenu svakih 500 ms. - Pohrana izmjerenih podataka - Automatski testovi brzine za procjenu ispravnosti mreže. - Korisnička kvaliteta iskustva mjeri se svake minute.	- Skeniranje Wi-Fi i LAN mreže i otkrivanje svih uređaja spojenih na mrežu - Precizno prikazivanje informacija o uređaju na mreži - Test brzine i latencije - Pregled područja nestanka interneta u okolici ili svijetu - Napredni alati za mrežnu dijagnostiku - Obavijesti o narušavanju mreže ili uređaja	- Skeniranje Wi-Fi i LAN mreže i otkrivanje svih uređaja spojenih na mrežu - Precizno i detaljno prikazivanje informacija o uređaju na mreži - Skeniranje otvorenih portova te detaljan opis poznatih portova - Prikaz IP adrese i imena hosta svakog čvora mreže - Mogućnost praćenja geolokacije paketa - Traženje DNS-a - Test brzine i latencije - Itd.
Prednosti	Mogućnost korištenja širokog spektra protokola za izvješćivanje o	- Jednostavno postavljanje - Kvalitetna služba za korisnike - Relativno niska cijena - Precizni rezultati	- Najbolja besplatna aplikacija za skeniranje Wi-Fi mreže - Mogućnost pohrane	- Najbolja mobilna aplikacija za skeniranje i mjerenje performansi Wi-Fi mreže - Mala cijena

	- performansama mreže - Potpuno prilagodljiva nadzorna ploča - Mogućnost slanja obavijesti u obliku SMS poruka, e-maila i dr. - Mogućnost integracije s drugim platformama - Senzori su posebno dizajnirani za nadzor svake aplikacije - Mogućnost stvaranja izvještaja i statistika te njihov izvoz u raznim formatima	- Prigodan za male, srednje i velike poslovne korisnike kao i za samostalne korisnike - Mogućnost pregleda rezultata mjerenja kroz povijest i njihov izvoz u raznim formatima - Nije potrebna nikakva instalacija programa na vlastito računalo	- skeniranih rezultata - Prigodan za unutarnje i vanjsko okruženje - Idealan za samostalne korisnike - Pristup nekim mrežnim alatima koji se inače plaćaju - Vrlo jednostavan za uporabu	- Mogućnost pohrane skeniranih rezultata - Idealan za samostalne korisnike, ali može poslužiti i malim i srednjim poslovnim korisnicima - Širok spektar mrežnih alata - Podrška za IPv4 i IPv6 - Jednostavan za uporabu
Nedostaci	- Vrlo složena platforma s mnogo značajki i pokretnih dijelova za koje je potrebno mnogo vremena da se savlada - Visoka cijena	- Kratko probno razdoblje - Princip ispitivanja s agentima može djelovati zbunjujuće za korisnike koji se prvi put susreću s ovakvim tipom alata	- Upitna preciznost testa brzine - Nedovoljno informacija o nepoznatim uređajima u mreži	- Nije besplatan - Zastarjelo korisničko sučelje - Zahtjeva osnovno razumijevanje računalnih mreža, stoga nije idealan za početnike

Na temelju provedene usporedne analize moguće je primijetiti da se programski alati uglavnom razlikuju prema navedenim kriterijima, ali i da imaju neke zajedničke karakteristike. Prema navedenim kriterijima može se lakše donijeti odluka o tome koji će se programski alat koristiti za određene potrebe. Ukoliko je potreban nadzor veće računalne mreže te svih njenih segmenata, najčešće u profesionalne svrhe, odabir bi bio programski alat *PRTG Network Monitor*. Jednostavnije i cjenovno povoljnije rješenje za nadzor svih veličina računalnih mreža bio bi programski alat *Obkio*, no njime je moguć nadzor nešto manjeg broja parametara. Programski alati *Fing* i *Network Analyzer Pro* se najčešće neće odabrati za profesionalne potrebe, već za nadgledanje manje Wi-Fi mreže (uglavnom kućne).

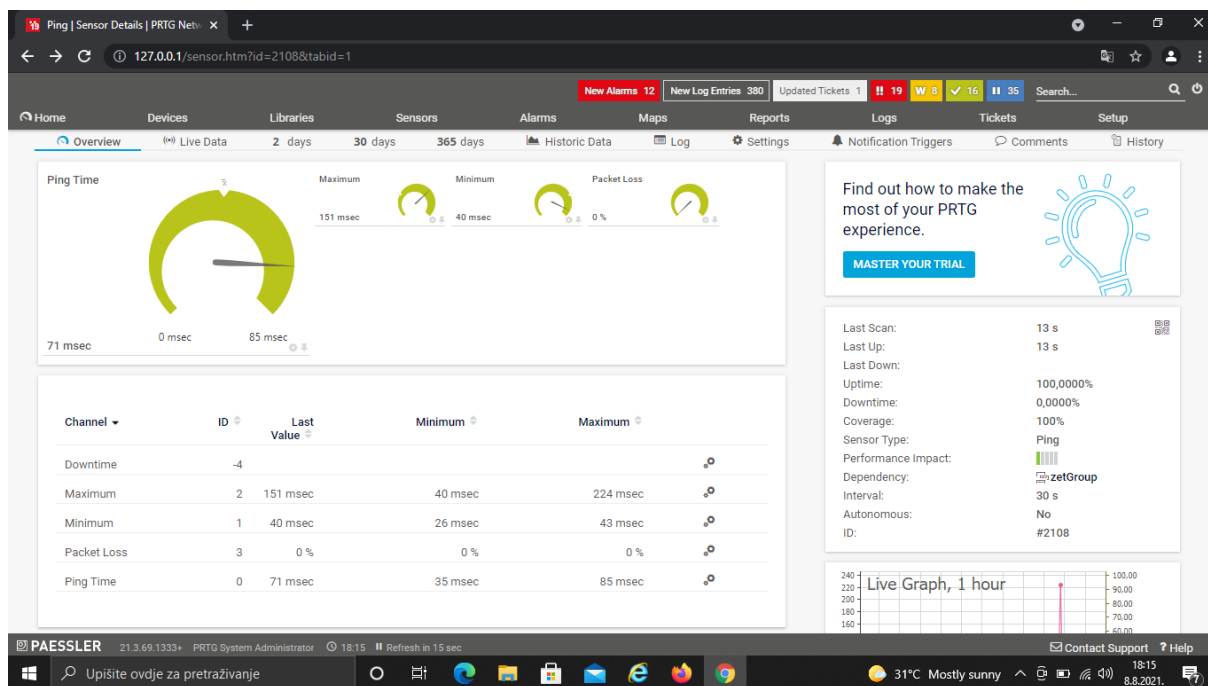
6. Ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u tramvaju

Ispitivanje u funkciji utvrđivanja razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže u tramvaju je bilo provedeno u niskopodnom tramvaju, linije 14 Zagrebačkog električnog tramvaja (ZET) u Zagrebu, 8. kolovoza 2021. u razdoblju od 16:00 do 19:00 sati. Nije bilo problema pri povezivanju na besplatnu Wi-Fi mrežu u tramvaju pod nazivom *ZETWiFi*, ali je svakih 30 minuta bilo potrebno obnoviti konekciju. Sama kvaliteta *ZETWiFi* mreže bit će prikazana u nastavku rezultatima mjerenja svakog od programskih alata.

6.1. Rezultati dobiveni alatom PRTG Network Monitor

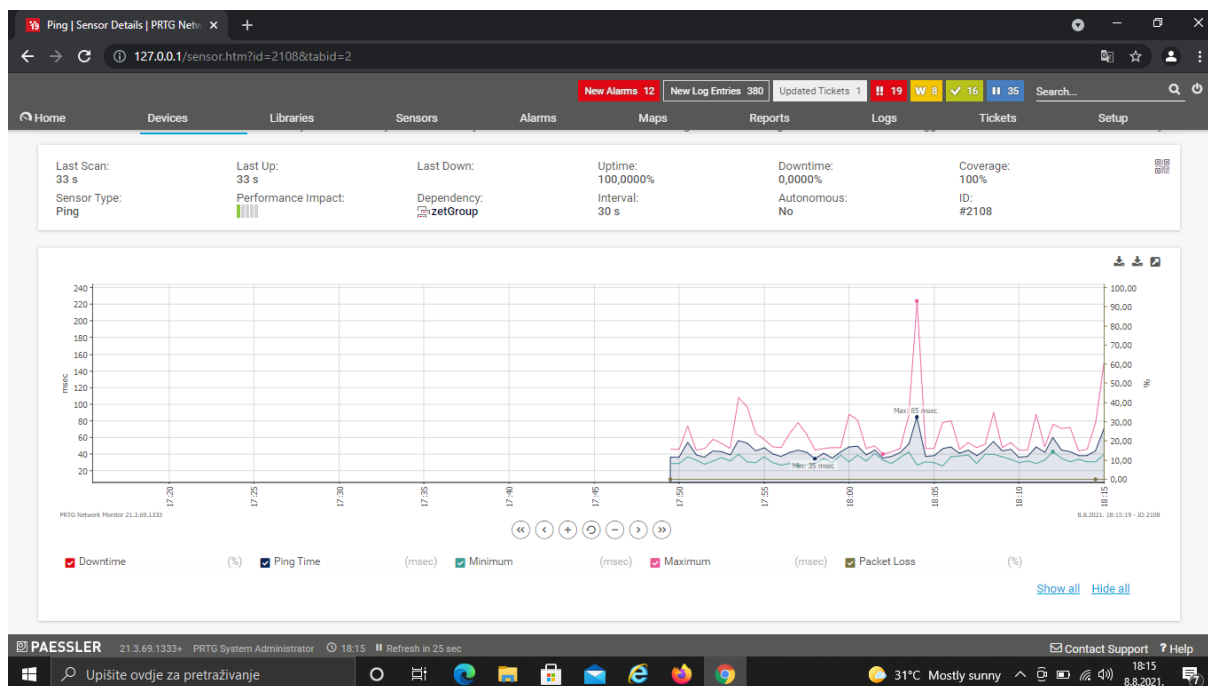
Nakon povezivanja na *ZETWiFi* pokrenuto je automatsko otkrivanje samo za grupu uređaja jer bi konfiguracija čitave mreže trajala nekoliko dana. Automatskim otkrivanjem otkrivena su četiri uređaja. Sva mjerenja rađena su na uređaju IP adrese 10.10.0.8 jer je za taj uređaj *PRTG* automatski dodao 12 senzora.

Pritiskom na senzor naziva *Ping* vidljivi su pokazivači. Mjerenja su rađena u intervalima od 30 s. Najveći pokazivač, koji je ujedno i primarni kanal senzora, mjeri vrijeme trajanja pinga koje je u tom trenutku 71 ms. Iz sljedećih, manjih pokazivača mogu se očitati najveće (*Maximum*) i najmanje (*Minimum*) vrijeme, ako se šalje više od jednog pinga po intervalu. Najveće vrijeme iznosi 151 ms, a najmanje 40 ms. Tijekom trajanja mjerenja nije bilo gubitaka paketa i nije došlo do prekida rada senzora. Ispod pokazivača je još vidljiv raspon vremena *Minimum* i *Maximum*. Raspon vremena *Minimum* nalazi se između 26 i 43 ms, dok vremena *Maximum* između 40 i 224 ms. Raspon vremena pinga je između 35 ms i 85 ms. Rezultati izmjereni senzorom *Ping* vidljivi su na slici 5.



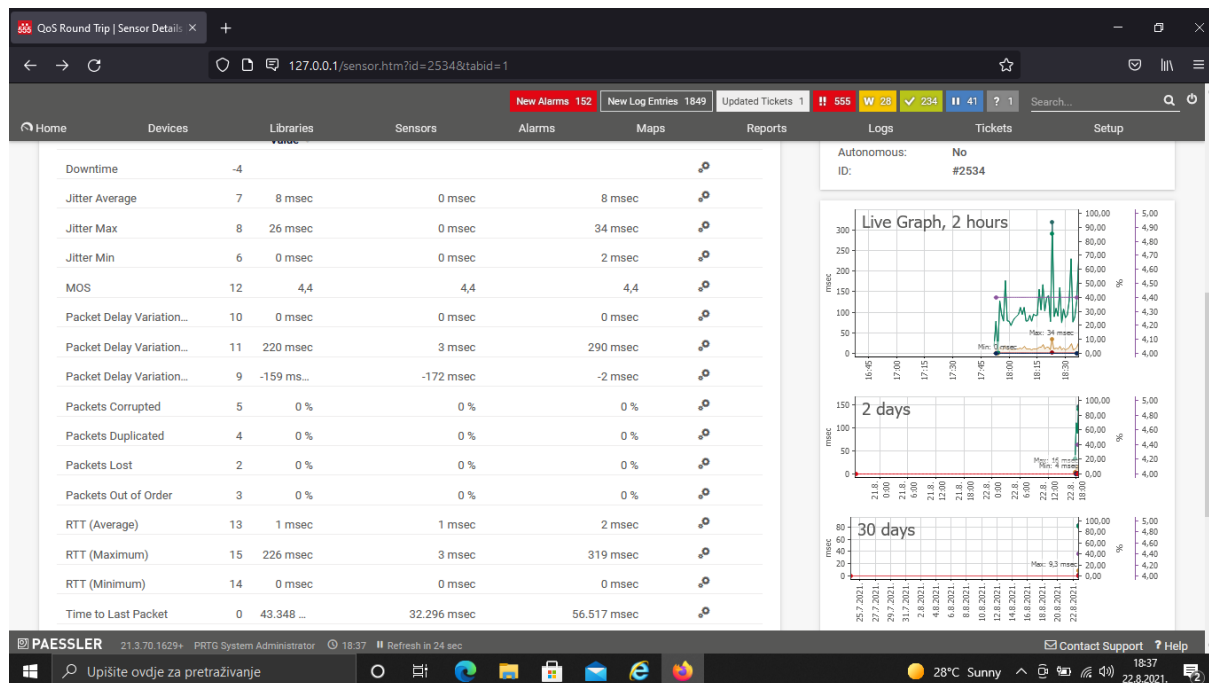
Slika 5. Rezultati izmjereni senzorom *Ping*

Grafički prikaz rezultata mjerenih senzorom *Ping* nalaze se na slici 6. Na grafikonu se tamno plavom crtom prikazana vremena pinga primarnog kanala. Svijetlo plava prikazuje vremena *Minimum*, a ružičasta vremena *Maximum*. Gubitak paketa i zastoj rada se ne nalaze na grafikonu jer ih nije bilo. X-os prikazuje vrijeme u satima i minutama, a y-os vremena ping u milisekundama.



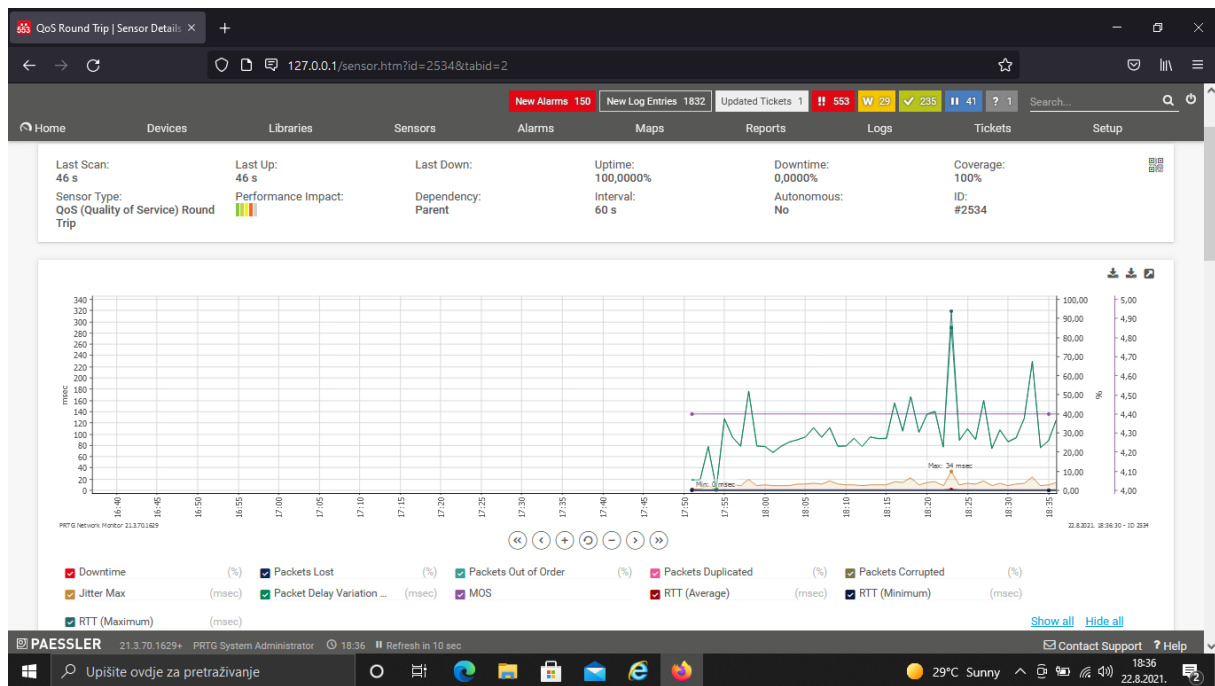
Slika 6. Grafički prikaz *Ping* rezultata

Senzor *QoS Round Trip* funkcioniira na način da šalje UDP pakete i na temelju njih mjeri parametre poput varijacije kašnjenja, gubitka paketa, MOS, RTT i druge. Sa slike 7. je vidljivo da dobiveni rezultati pokazuju prosječnu *Jitter* od 8 ms, dok je najveća izmjerena bila 26 ms. MOS ocjena je 4,4 što znači da je VoIP kvaliteta visoka. Tokom mjerenja nije bilo gubitaka paketa. Prosječno RTT vrijeme iznosi 1 ms, dok je najveće izmjereno bilo 226 m



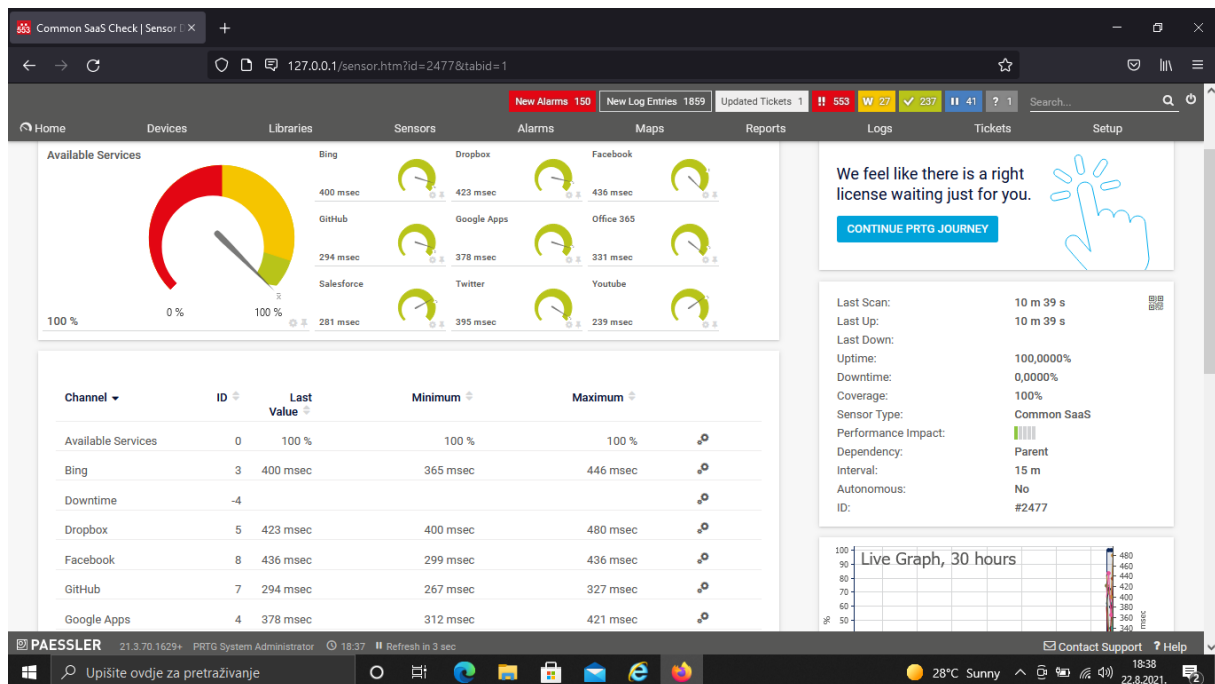
Slika 7. Prikaz rezultata senzora *QoS Round Trip*

Grafički prikaz rezultata mjerenja *QoS Round Trip* senzorom prikazan je na slici 8. Žutom bojom na grafikonu je označena najveća *Jitter* vrijednost, MOS ocjena je označena ljubičastom bojom, a prosječna RTT vrijednost tamno crvenom. X-os prikazuje vrijeme mjerenja u satima i minutama, a y-os s lijeve strane vrijeme u ms, dok y-os s desne strane pokazuje postotke i MOS ocjenu.



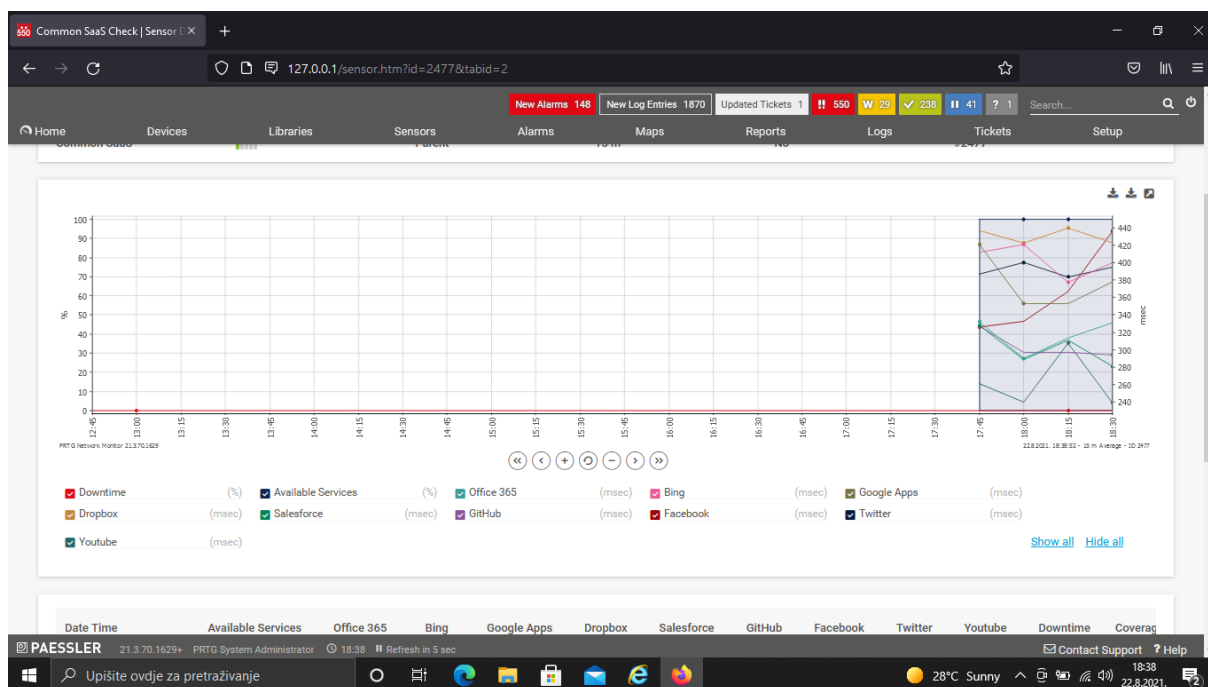
Slika 8. Grafički prikaz rezultata senzora *QoS Round Trip*

Senzor *Common SaaS* se spaja na krajnje točke raznih poslužitelja te mjeri vrijeme odaziva mreže prema tim poslužiteljima. Sa slike 9. na kojoj su prikazani rezultati mjerenja vidljivo je da su svi poslužitelji dostupni. Nadalje je vidljivo da trenutno vrijeme odaziva prema poslužitelju *Bing* iznosi 400 ms, prema *Facebook-u* 423 ms, a prema *Google Apps* 378 ms. Rezultati su prikazani pokazivačima i tablicom.



Slika 9. Prikaz rezultata senzora *Common SaaS*

Grafički prikaz rezultata senzora *Common SaaS* nalazi se na slici 10.



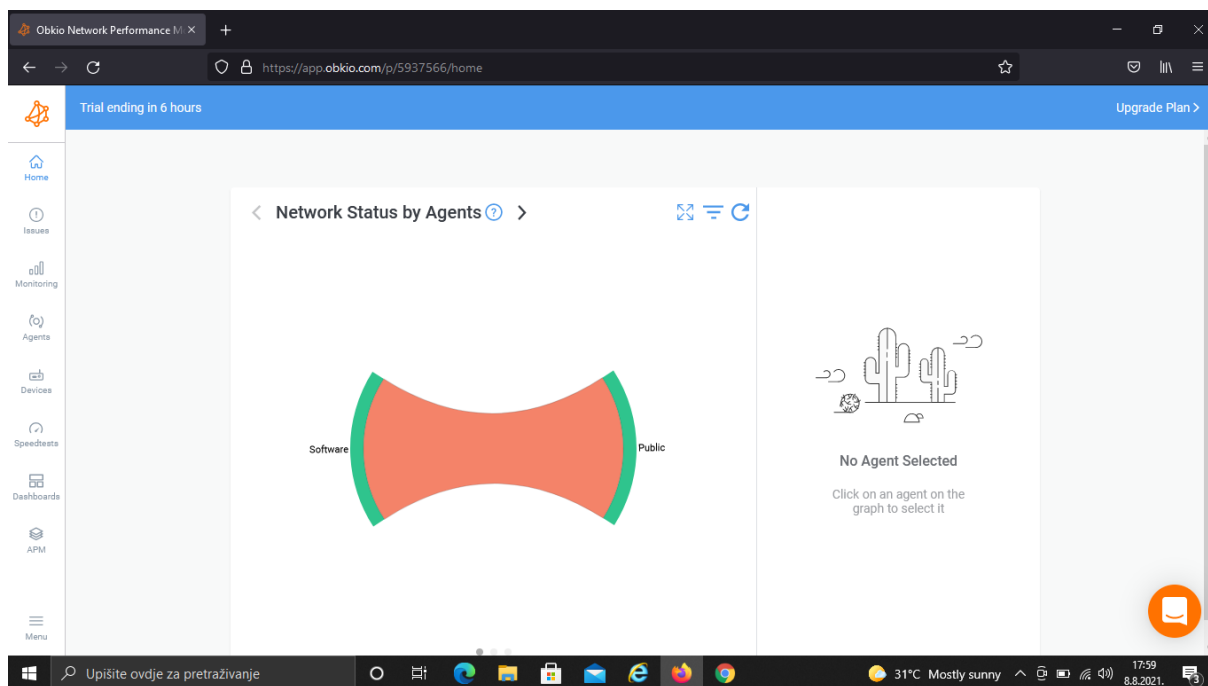
Slika 10. Grafički prikaz rezultata senzora *Common SaaS*

Tamno plava boja označava dostupnost usluge, ružičasta označava vrijeme odaziva prema poslužitelju *Bing*, siva prema *Google Apps*, a tamno crvena prema *Facebook*-u. X-os ponovno označava vrijeme mjerenja u satima i minutama, a y-os s lijeve strane pokazuje postotke, a s desne vrijeme u ms.

PRTG Network Monitor ima i mogućnost mjerenja razine Wi-Fi signala. Da bi to bilo moguće, potrebno je preuzeti skriptu koja se može pronaći na službenoj stranici za podršku korisnicima. [42] Skriptu je zatim potrebno učitati u programski alat te pomoću nje kreirati senzor za očitavanje razine signala. Rezultati dobiveni ovim senzorom također nisu konstantni. Izmjerena razina signala se kretala u intervalu od -30 dBm do -60 dBm.

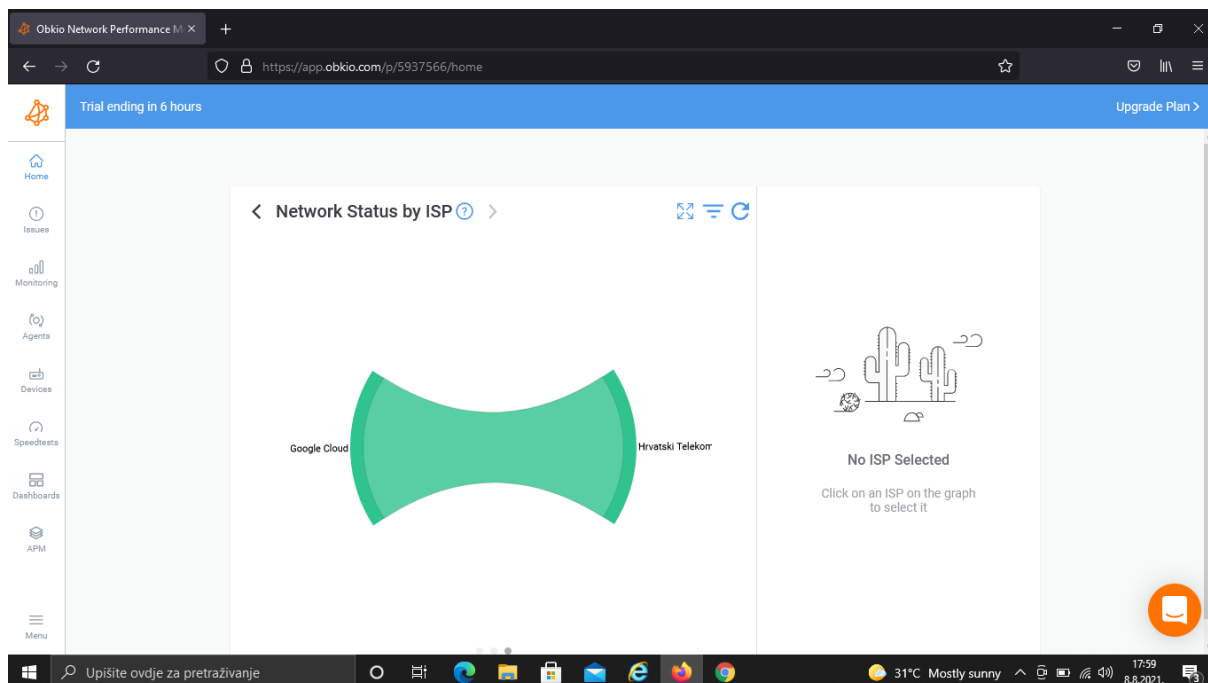
6.2. Rezultati dobiveni alatom *Obkio*

Pri mjerenju programskim alatom *Obkio* potrebno je prvo instalirati agente. Besplatna verzija daje mogućnost instalacije samo dva agenta, klijentski i javni, stoga je klijentski instaliran na prijenosno osobno računalo, a drugi na javni poslužitelj *Google Cloud*. Navedeno je da je maksimalna brzina prijenosa javnog agenta u oba smjera 200 Mbps te da mu je javna IP adresa 104.155.71.87, a lokacija u Belgiji. Na početnoj stranici prikazan je akordni dijagram kojim je prikazan status pojedinog agenta i status povezanosti između agenta. Na slici 11. je vidljivo da su krajevi dijagrama zeleni što znači da su agenti aktivni, a sredina dijagrama je svijetlo crvena što znači da se u tom trenutku dogodila pogreška u konekciji između njih.



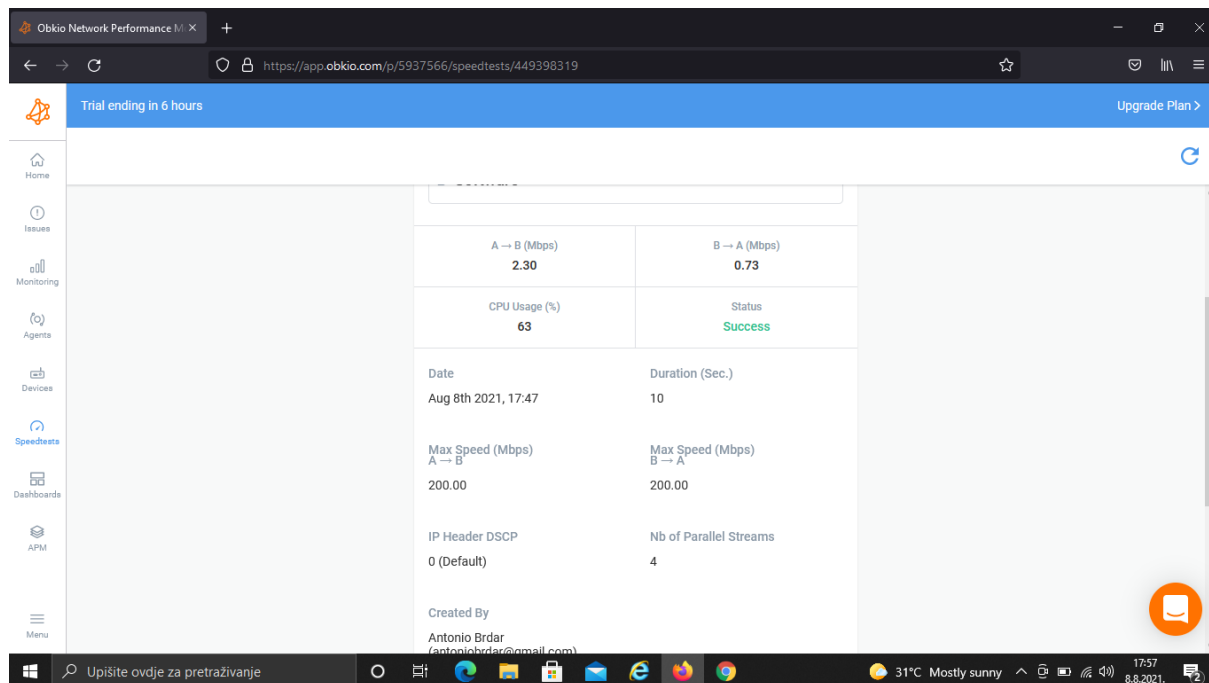
Slika 11. Akordni dijagram statusa među agentima

Na slici 12. je također vidljiv akordni dijagram, ali između pružatelja usluga, a to su u ovom slučaju *Google Cloud* s jedne strane i *Hrvatski Telekom* s druge. Dijagram je u cijelosti zelene boje što znači da je u tom trenutku konekcija između njih u redu.



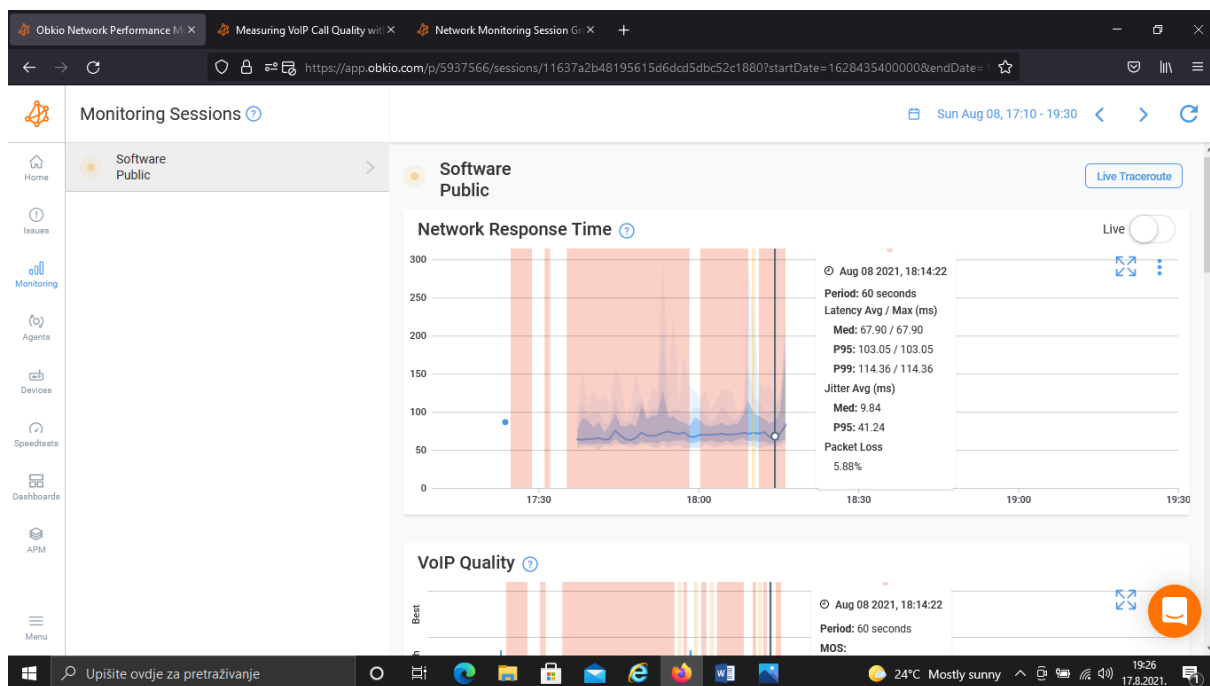
Slika 12. Akordni dijagram statusa među poslužiteljima

Sljedeće je napravljen test brzine prijenosa između agenata, javni je označen slovom A, a klijentski slovom B. Na slici 13. vidljivo je da je brzina od A prema B 2,30 Mbps, a od B prema A 0,73 Mbps. Uz to je još prikazano da je uporaba procesora bila 63%, da je test trajao 10 sekundi, da su maksimalne brzine prijenosa u oba smjera 200 Mbps te da postoje 4 paralelna toka podataka.



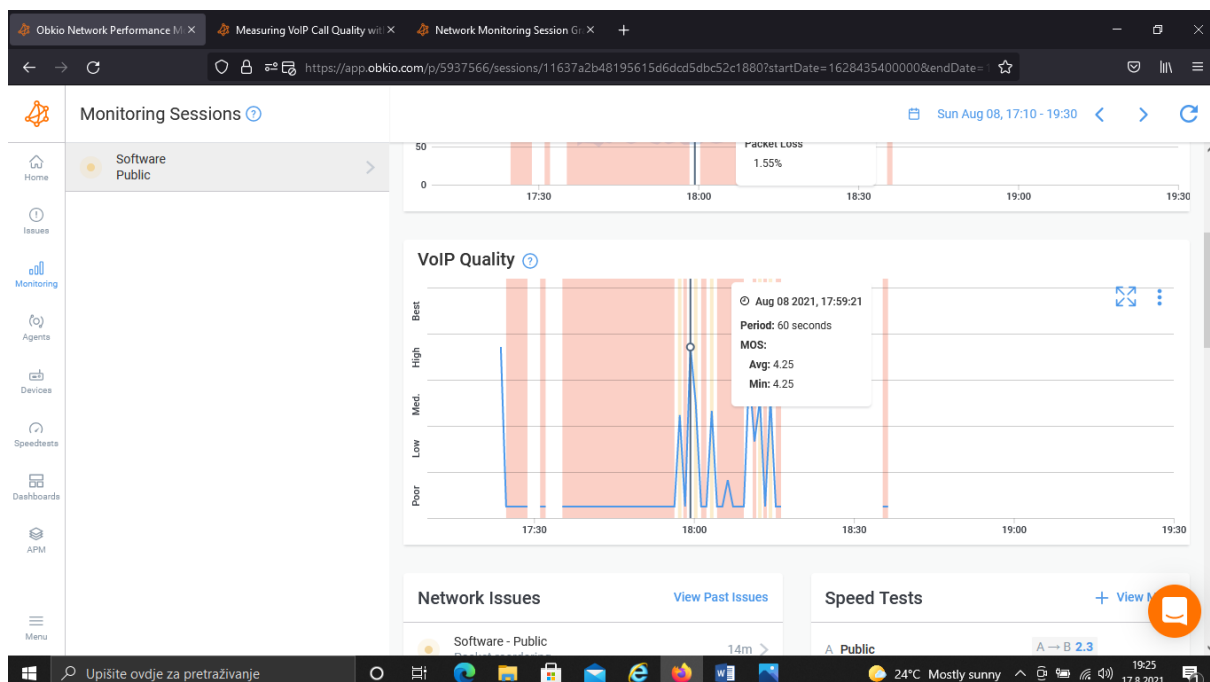
Slika 13. Obkio test brzine prijenosa

Na grafikonu mrežnog odaziva crvena pozadina označava da je gubitak paketa iznad praga pogreške, a žuta da je gubitak paketa iznad praga upozorenja. Plava crta i područja označavaju latenciju. Tako je s grafikona vidljivo da je u 18 sati, 14 minuta i 22 sekunde, srednja vrijednost latencije iznosila 67,90 ms, a maksimalna latencija 114,36 ms. Srednja prosječna vrijednost varijacije kašnjenja 9,84 ms, dok najveća 41,24 ms. Gubitak paketa iznosi 5,88% što je iznad praga pogreške. Iz grafikona se može zaključiti da je gubitak paketa u vremenu skeniranja velik što bitno narušava kvalitetu mreže. Grafikon vremena odaziva mreže je prikazan na slici 14.



Slika 14. Grafički prikaz odaziva mreže

Sljedeći grafikon prikazuje kvalitetu VoIP-a. Iz grafikona je vidljivo da je najbolja kvaliteta izmjerena u 17 sati, 59 minuta i 21 sekundu te njena MOS ocjena iznosi 4,25, što označava visoku kvalitetu. Crvena pozadina grafikona označava lošu kvalitetu, dok žuta označava srednju kvalitetu. Grafikon je prikazan slikom 15.



Slika 15. Grafički prikaz kvalitete VoIP-a

Sljedeća opcija programskog alata *Obkio* je opcija *Traceroutes* koja omogućuje praćenje paketa od izvora do odredišta, odnosno pokazuje kroz koliko usmjerivača paket prolazi dok ne dođe do odredišta. Na slici 16. je prikazana *Traceroute* lista između agenata zabilježena tijekom mjerenja te je vidljivo o kakvom je tipu riječ. Najčešći tip koji se pojavljuje je *Triggered* koji se događaju uslijed visokog gubitka paketa ili visoke latencije. Još jedan tip koji se pojavio je *Periodic*. Taj tip se pojavljuje kada nema mrežnih problema.

The screenshot shows the Obkio Network Performance Monitoring interface. The left sidebar contains navigation links: Home, Issues, Monitoring, Agents, Devices, Speedtests, Dashboards, APM, and Menu. The main content area is titled 'Monitoring Sessions' and shows a session for 'Software Public'. The 'Traceroutes' section displays two tables of results. The first table, 'Software → Public', shows five entries with timestamps and status labels: 'PERIODIC' and 'TRIGGERED'. The second table, 'Public → Software', shows three entries with timestamps and status labels: 'TRIGGERED', 'PERIODIC', and 'TRIGGERED'. Each entry has a '+' icon to its right. The interface also includes a top navigation bar with 'Monitoring Sessions', a trial status 'Trial ending in 6 hours', and an 'Upgrade Plan' link. The bottom status bar shows system information like temperature, weather, and time.

Traceroutes Software → Public	
2021-08-08 17:55:19	PERIODIC
2021-08-08 17:49:26	TRIGGERED
2021-08-08 17:45:21	PERIODIC
2021-08-08 17:40:25	TRIGGERED
2021-08-08 17:35:19	PERIODIC

Traceroutes Public → Software	
2021-08-08 17:49:21	TRIGGERED
2021-08-08 17:47:52	PERIODIC
2021-08-08 17:40:22	TRIGGERED

Slika 16. *Traceroute* lista

Klikom na pojedini *Traceroute* mogu se vidjeti neke detaljne informacije. Na slici 17. prikazana je tablica koja pokazuje redni broj skoka, ime i IP adresu hosta, gubitak paketa na pojedinom skoku itd.

#	Hostname	Loss%	Snt	Last	Avg	Best	Worst
1	disconnect (10.10.0.1)	1.0	100	55.0	41.8	23.0	124.0
2	ip1477023.net.t-com.hr (195.29.231.250)	1.0	100	48.0	45.5	24.0	118.0
3	ip1477023.net.t-com.hr (195.29.231.250)	1.0	100	32.0	44.0	29.0	144.0
4	195.29.23.133	17.0	100	33.0	44.3	25.0	114.0
5	gtr09-htr11.ip.t-com.hr (195.29.240.182)	1.0	100	41.0	44.7	24.0	166.0
6	72.14.204.128	17.0	100	38.0	47.1	30.0	116.0
7	74.125.242.225	1.0	100	50.0	49.5	28.0	123.0
8	74.125.242.226	1.0	100	51.0	50.2	32.0	130.0
9	108.170.236.247	26.0	100	60.0	64.7	44.0	144.0
10	64.233.174.143	16.0	100	48.0	67.9	47.0	120.0
11	142.251.68.159	15.0	100	55.0	68.7	49.0	116.0
12	209.85.253.215	1.0	100	56.0	73.0	51.0	138.0
13	???	100.0	100	-	-	-	-
14	???	100.0	100	-	-	-	-
15	???	100.0	100	-	-	-	-
16	???	100.0	100	-	-	-	-
17	???	100.0	100	-	-	-	-
18	???	100.0	100	-	-	-	-
19	???	100.0	100	-	-	-	-
20	???	100.0	100	-	-	-	-
21	???	100.0	100	-	-	-	-
22	87.71.155.104.bc.googleusercontent.com (104.155.71.87)	17.0	100	109.0	70.6	50.0	109.0

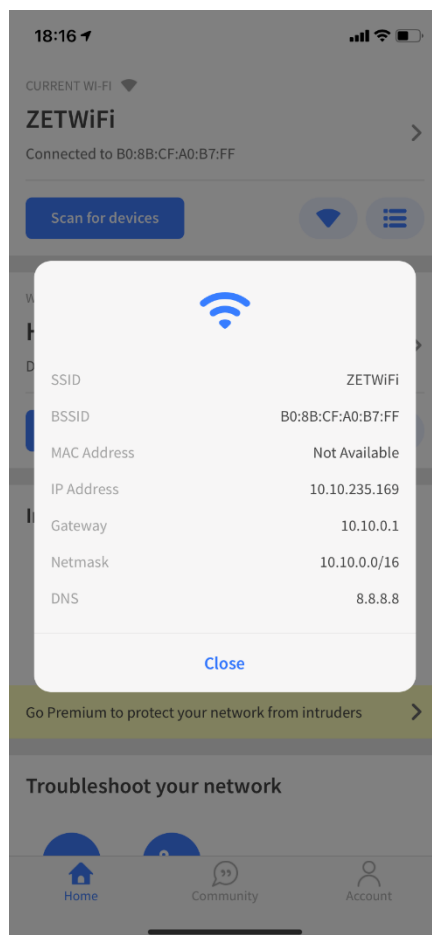
Destination IP	104.155.71.87
Duration	159 seconds
Max TTL	30
Packet Count	100
Packet Interval	1.0 seconds
Packet Size	64 Byte
Protocol	ICMP
ToS	0 (DSCP)

Slika 17. Traceroute tablica

Na dnu se može vidjeti da je IP adresa odredišta 104.155.71.87, da je prijenos trajao 159 sekundi, da maksimalan TTL u IP zaglavlju iznosi 30, a broj paketa iznosi 100 te da su veličine 64 byte-a i da se koristi ICMP protokol.

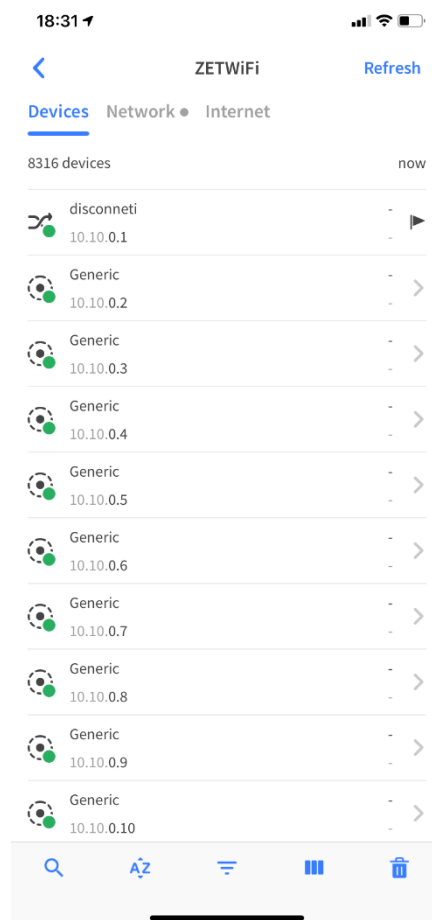
6.3. Rezultati dobiveni alatom Fing

Prilikom povezivanja na ZETWiFi programski alat odnosno mobilna aplikacija Fing nam prikazuje osnovne podatke o mreži. Tako je vidljivo da je SSID mreže ZETWiFi, BSSID glasi B0:8B:CF:AO:B7:FF, MAC adresa nije dostupna jer iOS operativni sustav nema pristup MAC adresama, IP adresa uređaja kojim se obavlja mjerenje, odnosno mobilnog pametnog telefona je 10.10.235.169, IP adresa zadanog pristupnika glasi 10.10.0.1, dodatak mrežne maske je /16 a DNS adresa 8.8.8.8. Navedene informacije prikazane su slikom 18.



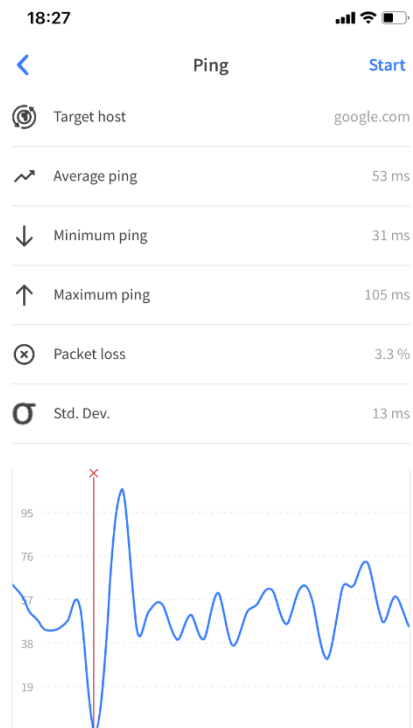
Slika 18. Mrežne informacije alata *Fing*

Na slici 19. je vidljivo kako je aplikacija skenirala 8316 IP adresa, no od toga je aktivno 65 uređaja. Na slici se može vidjeti da većina uređaja nosi naziv *Generic*, a to znači da aplikacija nije u mogućnosti identificirati o kakvom se uređaju radi. Obzirom da aplikacija skenira IP adrese, *Generic* uređaji ne moraju nužno biti korisnički terminalni uređaji, već bilo koji dio mrežne opreme koji ima vlastitu IP adresu.



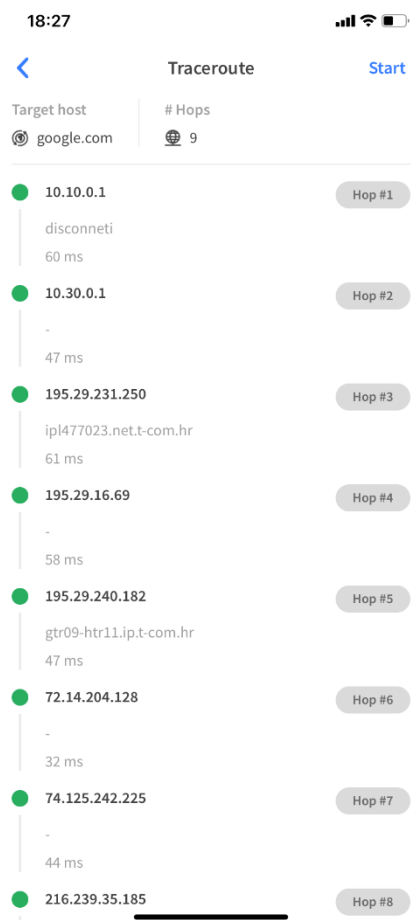
Slika 19. Detekirani mrežni uređaji alatom *Fing*

Nadalje je slikom 20. prikazan grafički i statistički prikaz opcije *Ping* prema mreži *google.com*. Na slici je vidljivo da je prosječno vrijeme pinga 53 ms, dok je najmanje 31 ms, a najveće 105 ms. Gubitak paketa iznosi 3.3 %, a standardna devijacija je 13 ms.



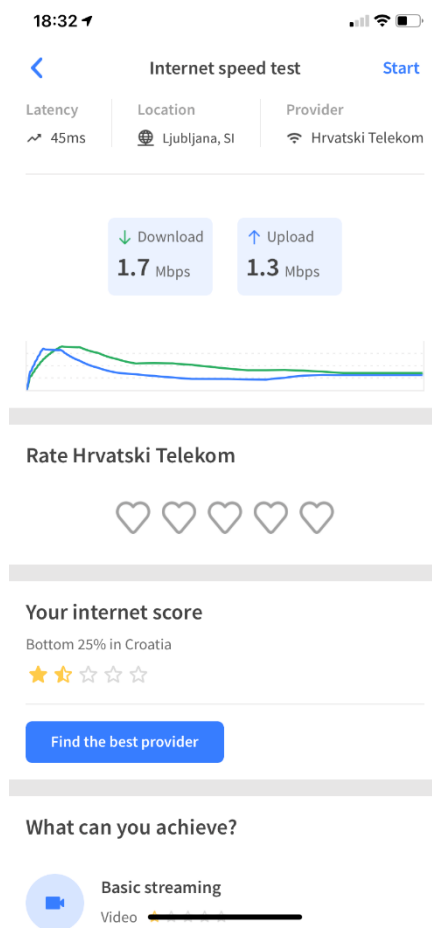
Slika 20. Opcija *Ping* alata *Fing*

Sljedeća opcija, *Traceroute*, pokazuje da je potrebno 9 skokova da bi se pristupilo odredištu *google.com*. Vidljiva je i IP adresa svakog čvora te trajanje svakog skoka. Podaci o skokovima prikazani su slikom 21.



Slika 21. Opcija *Traceroute* alata *Fing*

Na posljetku je testirana brzina *ZETWiFi* mreže. Izmjerena je brzina od 1.7 Mbps za preuzimanje podataka i 1,3 Mbps za slanje podataka, dok latencija iznosi 45 ms. Navedeno je i da je pružatelj usluge Hrvatski telekom.

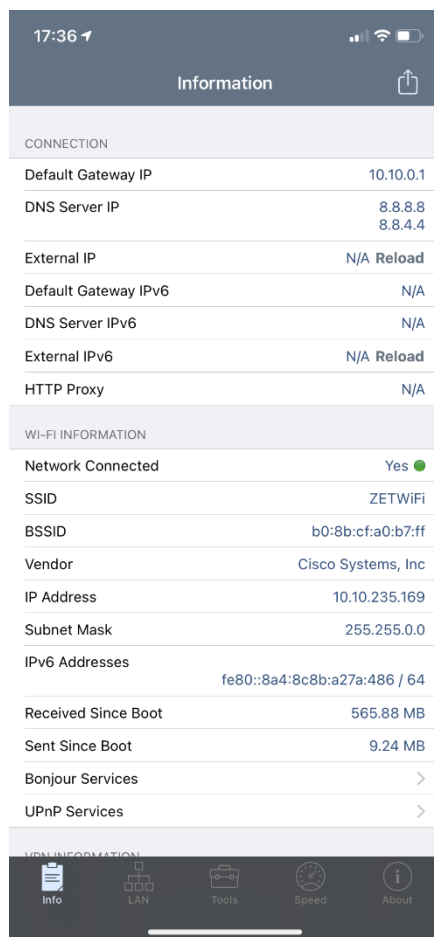


Slika 22. Test brzine prijenosa alata *Fing*

Rezultati testa brzine kao i njegov grafički prikaz prikazani su na slici 22.

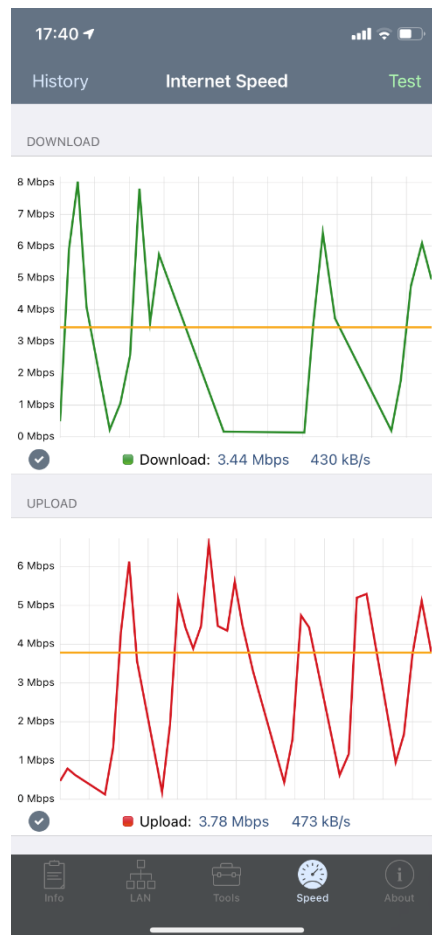
6.4. Rezultati dobiveni alatom Network Analyzer Pro

Prilikom povezivanja na *ZETWiFi* mrežu prikazani su već navedeni podaci o konekciji. Ono što se razlikuje od alata *Fing* je što adresa maske podmreže glasi 255.255.0.0 što označava klasu B IP adrese. Još je prikazana količina primljenih podataka od početka konekcije koja iznosi 565.88 MB i količina poslanih podataka koja iznosi 9.24 MB. Podaci su prikazani slikom 23.



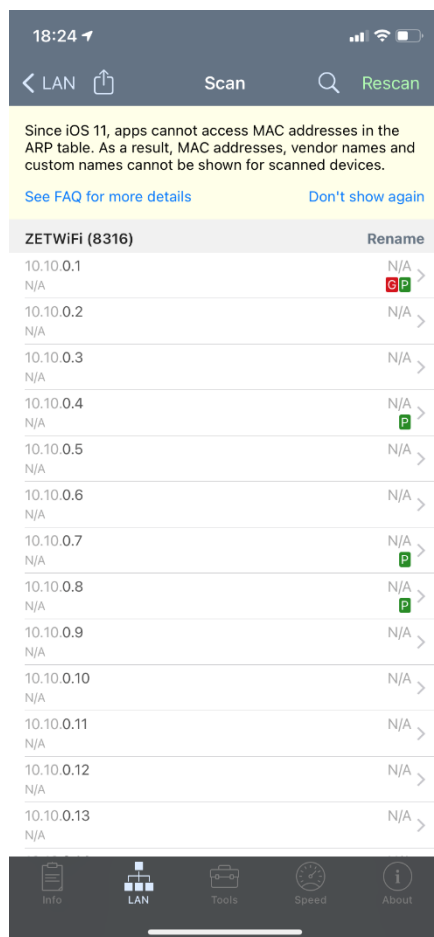
Slika 23. Mrežne informacije alata *Network Analyzer PRO*

Na slici 24. su vidljivi rezultati i grafički prikaz testa brzine. Izmjerene brzina za preuzimanje podataka iznosi 3.44 Mbps, odnosno 430 kB/s, a za slanje podataka 3.78 Mbps, odnosno 473 kB/s.



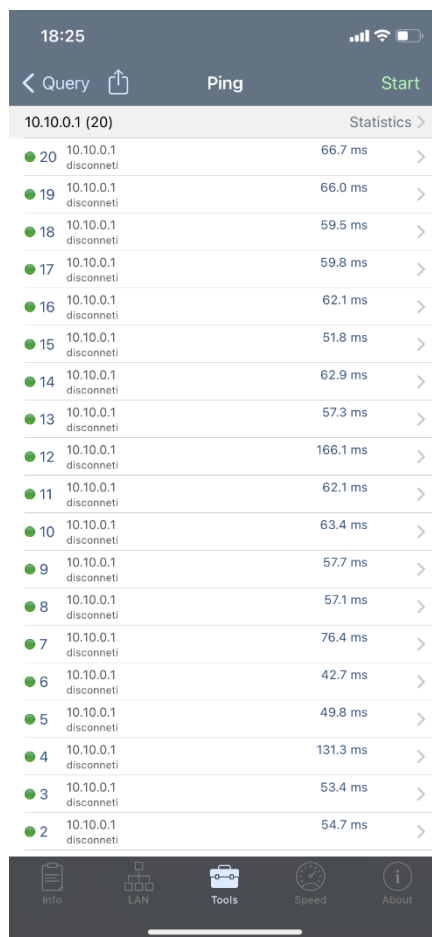
Slika 24. Test brzine prijenosa alata *Network Analyzer Pro*

Aplikacija *Network Analyzer Pro* je kao i aplikacija *Fing* skenirala 8316 IP adresa te je također detektirala 65 aktivnih uređaja koji su označeni zelenim slovom P, a to znači da odgovaraju na ICMP ping zahtjev. Na slici 25. je vidljivo da je prvi uređaj pristupnik jer je označen crvenim slovom G te da mu je IP adresa 10.10.0.1.



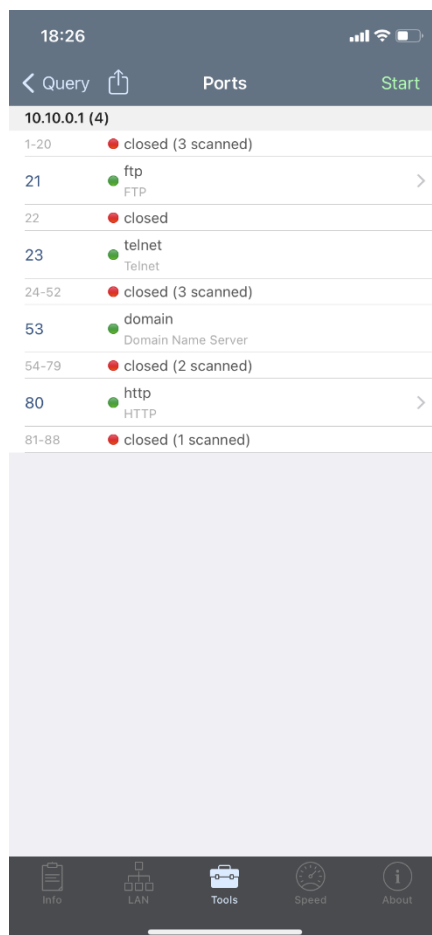
Slika 25. Detektirani mrežni uređaji alatom *Network Analyzer Pro*

Na slici 26. vidljiv je prikaz opcije *Ping* prema nasumičnom uređaju IP adrese 10.10.0.1. Mjerenje je zaustavljeno nakon dvadeset pingova, a rezultati pokazuju da je najkraće trajanje pinga 42,7 ms, a najveće 166 ms, dok je medijan 104,3 ms.



Slika 26. Opcija *Ping* alata *Network Analyzer Pro*

Još jedna opcije ove aplikacije je skeniranje otvorenih TCP portova zadanog hosta.



Slika 27. Opcija skeniranja portova alata *Network Analyzer Pro*

Testirani su otvoreni portovi za IP adresu 10.10.0.1 te su rezultati pokazali da su otvorena četiri porta, rednih brojeva 21 (ftp), 23 (telnet), 53 (domain) i 80 (http). Rezultati skeniranja portova prikazani su slikom 27.

6.5. Usporedba dobivenih rezultata

Usporedbom rezultata dobivenih ispitivanjem mreže *ZetWiFi* može se primijetiti da se većina rezultata razlikuje. Najveća razlika se može uočiti kod brzine prijenosa. Programski alat *Obkio* zabilježio je brzine od 2,30 Mbps u jednom smjeru i 0,73 Mbps u drugom, alat *Fing* je zabilježio brzine od 1,7 Mbps i 1,3 Mbps, a alat *Network Analyzer Pro* brzine od 3,44 Mbps i 3,78 Mbps. Gubitak paketa su zabilježili alati *Fing* i *Obkio*, a kod alata *Obkio* je on bio najveći, iznad 5%, dok alati *PRTG* i *Network Analyzer Pro* nisu ni u jednom trenutku zabilježili gubitak paketa. Prosječna vrijednost latencije koju imaju mogućnost mjeriti programski alati *Fing* i *Obkio* se također razlikuje te ona izmjerena alatom *Fing* iznosi 45 ms, a alatom *Obkio* 67,90 ms. *Jitter*, izmjeren alatima *PRTG* i *Obkio*, nalazi se u sličnim intervalima, no *Obkio* je ipak izmjerio veću maksimalnu vrijednost koja iznosi 41,24 ms. MOS ocjena VoIP-a iznosi 4 i kod

alata *PRTG* i kod alata *Obkio*. Prosječna vremena pinga su relativno slična kod svih programskih alata te se rasponi najmanjeg i najvećeg trajanja kreću u sličnim intervalima. Alati *Fing* i *Network Analyzer Pro* su zabilježili identičan broj aktivnih uređaja na mreži, a on iznosi 65. Kod razine signala koju ima mogućnost mjeriti samo *PRTG Network Monitor*, također se može primijetiti varijacija te je ona iznosila između -30 dBm i -60 dBm.

Pretpostavka varijacije rezultata je ta što ispitivanje nije provedeno u istom trenutku sa svim programskim alatima i što broj korisnika na mreži nije konstantan, već se mijenja pa samim time veći broj spojenih korisnika narušava kvalitetu signala. Pretpostavka je da i broj spojenih korisnika utječe i na razinu signala, a razlog tome je interferencija na frekvenciji od 2.4 GHz. Još jedna pretpostavka varijacije je što ispitivanje nije rađeno na istom mjestu u tramvaju te je zbog položaja u odnosu na pristupnu točku, na nekim dijelovima tramvaja, slabiji signal.

7. Zaključak

Bežična komunikacijska mreža ili Wi-Fi, iako ima svoje prednosti i nedostatke, široko je rasprostranjena te bi današnji svakodnevni život bio nezamisliv bez nje. Izvedba Wi-Fi mreže je vrlo kompleksna. Razvijena je prema OSI referentnom modelu od sedam slojeva, a glavni mrežni elementi su terminalni uređaji, pristupne točke i antene. S obzirom da u ovom slučaju nema žičnog prijenosa, prijenos signala obavlja se zrakom, korištenjem frekvencijskih pojaseva. To su frekvencije od 2.4 i 5 GHz, a sam način rada mreže odvija se po IEEE 802.11 standardima čijih varijacija ima mnogo te se konstantno unapređuju. Kako bi se održala zadovoljavajuća kvaliteta signala, potrebno je pratiti parametre poput kašnjenja i varijacije kašnjenja, propusnosti, pojasne širine te gubitka paketa.

Navedeni parametri mjere se i nadziru pomoću raznih programskih alata. Ti programski alati mogu zahtijevati naprednu ili osnovnu razinu poznavanja računalnih mreža, mogu biti za veće i manje računalne mreže, kompleksni računalni programi ili mobilne aplikacije i dr. U ovom završnom radu analizirana su četiri namjenska programska alata: *PRTG Network Monitor*, *Obkio*, *Fing* i *Network Analyzer Pro*. *PRTG Network monitor* je zahtjevan programski alat za kojeg je potrebno odvojiti vremena da bi ga se u potpunosti razumjelo i ovladalo radom na njemu. Prigodan je za sve vrste mreža od malih, kućnih, pa sve do velikih poslovnih ili javnih mreža. Pruža širok spektar mogućnosti za nadzor mreže. Programskim alatom *Obkio* se pristupa na webu i nešto je jednostavniji alat te ne zahtjeva previše vremena da bi se njime ovladalo. Također, ima mnogo mogućnosti za mjerenje parametara i nadzor mreže. Prigodan je za sve korisnika od malih do velikih poslovnih, pa sve do samostalnih korisnika koji žele vidjeti kvalitetu kućne mreže. *Fing* i *Network Analyzer Pro* su mobilne aplikacije. Uglavnom ih koriste samostalni korisnici na manjim, kućnim mrežama, ali savršeno dobro funkcioniraju i na većim, javnim mrežama. Korisniku pružaju slične mogućnosti za skeniranje i mjerenje performansi bežične mreže, iako *Network Analyzer Pro* sadrži nekoliko alata više od aplikacije *Fing*.

Navedenim programskim alatima izmjerena je razina i kvaliteta signala Wi-Fi mreže u proizvoljno odabranom električnom tramvaju (broj 14, ZET). Iako su svi obrađeni programski alati relativno precizni, dobiveni su različiti rezultati. Dolazi se do zaključka da kvaliteta signala nije konstantna već da varira iz trenutka u trenutak. Ta varijacija je posljedica mijenjanja pozicije unutar tramvaja u odnosu na pristupnu točku, ali i mjerenja provedenog tijekom vožnje tramvaja. Još jedan čimbenik je taj što se velik broj korisnika, svojim terminalnim uređajima, konstanto prijavljuje i odjavljuje s mreže te time narušavaju kvalitetu signala jer smanjuju mogućnost ravnomjernog posluživanja uređaja. Taj velik broj korisnika narušava i razinu signala jer izaziva interferenciju na frekvenciji od 2.4 GHz.

Literatura

- [1] Hamidovic, H., Kosec, B.: WLAN bežične lokane računalne mreže: priručnik za brzi početak, Info Press, Zagreb, 2008.
- [2] Peraković, D., Periša, M., Forenbacher, I.: Autorizirani nastavni materijali iz predmeta Arhitektura telekomunikacijske mreže, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018., Predavanje 8, preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3305553/mod_resource/content/2/8.%20Arhitektura%20lokalnih%2028LAN%29%20mre%C5%BEa%20-%2005.12.2019.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [3] Preuzeto sa: <https://sites.google.com/a/pccare.vn/it/security-pages/wireless-network-structure> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [4] Preuzeto sa: <https://www.hitechwhizz.com/2020/03/6-advantages-and-disadvantages-drawbacks-benefits-of-wifi.html> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [5] Carlos Alexandre Gouvea Da Silva, Carlos Marcelo Pedroso: *MAC-Layer Packet Loss Models for Wi-Fi Networks: A Survey*. *IEEE Access*. 2019.;7: 180512-180531.
- [6] Preuzeto sa: <https://www.electronics-notes.com> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [7] Preuzeto sa: <https://www.techopedia.com/definition/30022/network-performance> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [8] Kavran, Z., Grgurević, I.: Autorizirana predavanja i laboratorijske vježbe iz predmeta Računalne mreže, vježbe 3, Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/2973748/mod_resource/content/5/RM_Laboratorijske%20vje%C5%BEbe_1920_3.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [9] Sadiku, M.N.O., Musa, S.M.: *Performance Analysis of Computer Networks*, Springer, USA, 2013.
- [10] Mrvelj, Š.: Autorizirana predavanja iz predmeta Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1, predavanja 4, preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4674603/mod_resource/content/8/4.%20Predavanje_ciljevi%20razine%20usluge2020.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [11] Sanghyun Kim, Ji-Hoon Yun: *Wider-Bandwidth Operation of IEEE 802.11 for Extremely High Throughput: Challenges and Solutions for Flexible Puncturing*. *IEEE Access*. 2020.;8: 213840-213853.
- [12] Korać, M., Car, D.: Uvod u računalne mreže, Zagreb, Algebra d.o.o., 2014.
- [13] Preuzeto sa: <https://www.forcepoint.com/cyber-edu/packet-loss> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)

- [14] Afshin Arefi, Majid Khabbazzian: *Packet Loss Recovery in Broadcast for Real-Time Applications in Dense Wireless Networks*. *IEEE Open Journal of the Computer Society*. 2021;2: 3-13-
- [15] Preuzeto sa: <https://www.lifewire.com/required-to-build-wireless-networks-816542> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [16] Peraković, D.: Autorizirana predavanja iz predmeta Terminalni Uređaji, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4509541/mod_resource/content/1/02_Op%C4%87enito_o_terminalni_m_ure%C4%91ajima.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [17] Muštra, M., Predavanja i vježbe iz predmeta Mobilni komunikacijski sustavi, predavanje 3, preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4704242/mod_resource/content/2/03-MKS%20Antene.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [18] Mrvelj, Š.: Autorizirana predavanja iz predmeta Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1, predavanja 6, preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4374285/mod_resource/content/5/6.%20Predavanje_%20podatkovni%20promet.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [19] Kavran, Z., Grgurević, I.: Autorizirana predavanja i laboratorijske vježbe iz predmeta Računalne mreže, predavanje 2, Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/2973744/mod_resource/content/8/2_Predavanja_RM.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [20] Preuzeto sa: https://www.znanje.org/abc/tutorials/internet_abc/01/d1_osi_model1.htm (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [21] Preuzeto sa: <https://osi-model.com/physical-layer/> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [22] Wetteroth, D.: *OSI Reference Model for Telecommunications*, Mc Graw Hill, USA, 2003.
- [23] Preuzeto sa: <https://osi-model.com/network-layer/> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [24] Kavran, Z., Grgurević, I.: Autorizirana predavanja i laboratorijske vježbe iz predmeta Računalne mreže, predavanje 8, Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/2973755/mod_resource/content/5/8_Predavanja_RM.pdf (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [25] Preuzeto sa: <https://www.imperva.com/learn/application-security/osi-model/> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [26] Rony Kumer Saha: *Coexistence of Cellular and IEEE 802.11 Technologies in Unlicensed Spectrum Bands -A Survey*. *IEEE Open Journal of the Communications Society*. 2021.;1: 2-4.
- [27] Preuzeto sa: <https://www.extremenetworks.com/extreme-networks-blog/2-4-ghz-channel-planning/> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)

- [28] Preuzeto sa: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/channels-frequencies-bands-bandwidth.php> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [29] Preuzeto sa: <http://tofviaprefephro.eklablog.com/best-wifi-channel-5ghz-a131117712> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [30] Ivan Grgurević, Karlo Juršić, Vinko Rajič: *Overview of Wi-Fi-based Automatic Passenger Counting Solutions in Public Urban Transport. University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences.*
- [31] Seunghan, R., Byungkyu, B. P., El-Tawab, S.: *WiFi Sensing System for Monitoring Public Transportation Ridership: A Case Study, KSCE J Civ Eng* 24, 3092–3104 (2020).
- [32] Hidayat, A., Terabe, S., Yaginuma, H.: *Estimating bus passenger volume based on a Wi-Fi scanner survey, Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Volume 6*, 100142 (2020).
- [33] Ooi, Y., Wai, K.Z., Tan, I., Sheng, O.B.: *Measuring the accuracy of crowd counting using Wi-Fi probe-request-frame counting technique.* 8. 79-81 (2016).
- [34] Yoshida, T., Yoshiaki, T.: *Estimating the number of people using existing WiFi access point in indoor environment. Advances in Computer Science*, pp. 46-53 (2015).
- [35] Brandon, S.: *Estimating Passenger Flow & Occupancy on Board Public Transport Buses through Mobile Participatory and Opportunistic Sensing. University of Dublin, Trinity College, Dissertation* (2015).
- [36] Rajič V., Juršić K., Grgurević I., Vlačić M.: *Testing Wireless Telecommunication Network in Public Urban Passenger Transport Vehicles in the City of Zagreb.* 2019.
- [37] Jana Kalikova, Jan Krcal: *People counting by means of Wi-Fi. Smart Cities Symposium Prague.* 2017
- [38] Preuzeto sa: <https://apps.apple.com/us/app/prtg-monitoring/id326306472> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [39] Preuzeto sa: <https://apps.apple.com/us/app/obkio/id1351924056> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [40] Preuzeto sa: <https://apps.apple.com/us/app/fing-network-scanner/id430921107> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [41] Preuzeto sa: <https://apps.apple.com/us/app/network-analyzer-pro/id557405467> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [42] Preuzeto sa: <https://www.paessler.com/manuals/prtg> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)
- [43] Preuzeto sa: <https://obkio.com/docs/getting-started/> (Pristupljeno: kolovoz 2021.)

Popis slika

Slika 1. Struktura Wi-Fi mreže	4
Slika 2. Slojevi OSI referentnog modela	16
Slika 4. Plan iskoristivosti kanala frekvencijskog pojasa od 5 GHz.....	20
Slika 5. Rezultati izmjereni senzorom <i>Ping</i>	37
Slika 6. Grafički prikaz <i>Ping</i> rezultata	37
Slika 7. Prikaz rezultata senzora <i>QoS Round Trip</i>	38
Slika 8. Grafički prikaz rezultata senzora <i>QoS Round Trip</i>	39
Slika 9. Prikaz rezultata senzora <i>Common SaaS</i>	39
Slika 10. Grafički prikaz rezultata senzora <i>Common SaaS</i>	40
Slika 11. Akordni dijagram statusa među agentima	41
Slika 12. Akordni dijagram statusa među poslužiteljima	41
Slika 13. Obkio test brzine prijenosa	42
Slika 14. Grafički prikaz odaziva mreže	43
Slika 15. Grafički prikaz kvalitete VoIP-a	43
Slika 16. <i>Traceroute</i> lista	44
Slika 17. <i>Traceroute</i> tablica	45
Slika 18. Mrežne informacije alata <i>Fing</i>	46
Slika 19. Detekirani mrežni uređaji alatom <i>Fing</i>	47
Slika 20. Opcija <i>Ping</i> alata <i>Fing</i>	48
Slika 21. Opcija <i>Traceroute</i> alata <i>Fing</i>	49
Slika 22. Test brzine prijenosa alata <i>Fing</i>	50
Slika 23. Mrežne informacije alata <i>Network Analyzer PRO</i>	51
Slika 24. Test brzine prijenosa alata <i>Network Analyzer Pro</i>	52
Slika 25. Detektirani mrežni uređaji alatom <i>Network Analyzer Pro</i>	53
Slika 26. Opcija <i>Ping</i> alata <i>Network Analyzer Pro</i>	54
Slika 27. Opcija skeniranja portova alata <i>Network Analyzer Pro</i>	55

Popis tablica

Tablica 1. Odnos brzine prijenosa i modulacije [6]	6
Tablica 2. Sažetak fizičkih slojeva [6].....	7
Tablica 3. Usporedba programskih alata	34



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada
pod naslovom Ispitivanje razine i kvalitete signala bežične komunikacijske mreže
u prometnom okruženju
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 22.8.2021

Student/ica:

Brđar

(potpis)