

# Simulacija WLAN mreže primjenom OPNET programске podrške

---

Celić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*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:119:273167>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Luka Celić**

**SIMULACIJA WLAN MREŽE PRIMJENOM  
OPNET PROGRAMSKE PODRŠKE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb,rujan 2019.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**SIMULACIJA WLAN MREŽE PRIMJENOM  
OPNET PROGRAMSKE PODRŠKE**

**SIMULATION OF WLAN NETWORK USING  
OPNET SOFTWARE**

Mentor: prof.dr.Zvonko Kavran

Student: Luka Celić  
JMBAG:0135236133

Zagreb, 19. ožujka 2019.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5007

Pristupnik: **Luka Celić (0135236133)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Simulacija WLAN mreže primjenom OPNET programske podrške**

**Opis zadatka:**

Na primjeru zadane arhitekture WLAN mreže primjenom programske podrške OPNET istražiti performanse mreže.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Zvonko Kavran

## **SIMULACIJA WLAN MREŽE PRIMJENOM OPNET PROGRAMSKE PODRŠKE**

### **SAŽETAK**

Lokalna ili bežična računalna mreža podrazumijeva skupinu od najmanje dva međusobno povezana računala koji dijele informacije putem komunikacijskih protokola. Računalna mreža se također sastoji od ostalih čvorova poput usmjernika, prospojnika ili razdjelnika. Bežična lokalna mreža označava lokalnu računalnu mrežu koja se zasniva na bežičnim tehnologijama prijenosa podataka pomoću elektromagnetskih valova. Uz pomoć programske podrške OPNET izvedene su različite simulacije za različite scenarije povezivanja unutar bežične lokalne mreže.

**KLJUČNE RIJEČI:** bežična lokalna mreža; OPNET; simulacija; 802.11 standard

### **SUMMARY**

A local or wireless computer network involves a group of at least two interconnected computers sharing information through communication protocols. The computer network also consists of other nodes such as routers, switches, or hubs. Wireless local area network refers to a local computer network based on wireless data transfer technologies using electromagnetic waves. Using OPNET software support, various simulations have been performed for different connection scenarios within a wireless local area network.

**KEY WORDS:** wireless local area network; OPNET; simulation, 802.11 standard

# Sadržaj

1.Uvod.....	1
2. Lokalne računalne mreže.....	3
2.1. Sastavni dijelovi lokalnih računalnih mreža .....	3
2.1.1 Hardverske komponente .....	3
2.1.2 Softverske komponente.....	5
2.2 Podjela bežičnih računalnih mreža prema geografskom prostoru pokrivanja .....	5
2.3.Topologije računalnih mreža .....	7
3. Arhitektura 802.11 .....	10
3.1.Komponente IEEE 802.11 .....	10
3.2 Skup usluga 802.11 arhitekture.....	12
3.3 Kvaliteta usluge 802.11 .....	13
3.4 802.11 standardi.....	14
4.Performanse bežičnih računalnih mreža.....	16
4.1 Kašnjenje .....	16
4.2 Propusnost .....	17
4.3 Varijacija kašnjenja .....	17
4.4 Odnos signal-šum.....	18
4.5 Bit Error Rate.....	18
4.6 Interferencije.....	19
4.7 Sigurnost.....	21
5.OPNET programsko okruženje.....	23
5.1 Važne karakteristike primjenjene u simulaciji .....	23
5.2 Simulacija .....	23
5.2.1 Primjer s jednim nepomičnim korisnikom.....	24
5.2.2 Primjer s jednim pomičnim korisnikom .....	28
5.2.3 Složeni primjer s dva pomična korisnika .....	34
6.Zaključak.....	41
7.Literatura .....	42
Popis slika .....	43
Popis tablica .....	44

## 1.Uvod

Zbog sve većeg povećanja prometa podataka u svijetu računalnih mreža kao i jednostavnog i relativno sigurnog načina komuniciranja, bežične mreže predstavljaju područje brzog rasta tehnologije za pružanje usluge mrežnog pristupa. Uobičajene tehnologije bežičnog prijenosa mogu se svrstati u različite kategorije ovisno o dometu, načinu primjene i sl. U gradskom području WiMAX (IEEE 802.16) pruža korisnicima širokopolasni pristup s velikim brzinama prijenosa podataka. U lokalnom području Wi-Fi (IEEE 802.11) korisnicima omogućuje uspostavljanje bežičnih veza unutar zgrade, nekog manjeg područja ili kampusa. Štoviše, u osobnom području (manje od 10 metara) Bluetooth (IEEE 802.15) može pružiti jeftin i kratki domet povezivosti za terminalne uređaje.

Dva načina pristupanja računalnoj mreži uključuju LAN (eng. Local Area Network) i WLAN (eng. Wireless Local Area Network) tehnologije odnosno fiksni i bežični način pristupanja mreži. Osnovna prednost bežične mreže je mobilnost korisnika unutar dometa bežičnog signala pristupne točke. Generalno sigurnost bežične mreže je dosta manja u odnosu na žični prijenos. Sva bežična oprema standardizirana je za prijenos podataka u radijskom spektru 2.4 GHz odnosno 5 GHz u skupini 802.11 standarda od strane IEEE (eng. Institute of Electrical and Electronics Engineers). Proizvodi napravljeni prema ovim standardima često nose zaštitni znak Wi-Fi.

Cilj ovog završnog rada je prikazati arhitekturu, karakteristike i performanse računalnih bežičnih mreža u različitim uvjetima i okruženjima, kao i mjerenje različitih parametara pristupnih točki i terminalnih uređaja u komunikaciji uz primjenu programske podrške OPNET. Kroz 5 poglavlja opisanih u radu prikazane su značajke i problemi u razvoju bežičnih lokalnih mreža kao i simulacija određenih događaja u *OPNET* programskom okruženju

1. Uvod
2. Računalne mreže
3. Arhitektura 802.11

4. Performanse WLAN-a
5. OPNET programsko okruženje

U drugom poglavlju opisana je osnovna arhitektura žičnih i bežičnih računalnih mreža ,hardverske i softverske komponente kao i različite topologije te važne značajke kako žičnih tako i bežičnih lokalnih mreža.U trećem poglavlju obuhvaćene su komponente, usluge, 802.11 standarda kao i percepcija korisničke kvalitete usluge. U četvrtom poglavlju prikazane su performanse bežičnih lokalnih mreža pomoću nekih od faktora za prikazivanje cjelokupne slike mrežnih performansi te utjecaj interferencija. U zadnjem petom poglavlju predstavljeno je okruženje programa OPNET koji se koristi za simulaciju različitih slučajeva kao i za evaluaciju performansi.



## **2. Lokalne računalne mreže**

LAN predstavlja kraticu za Local Area Network (Lokalna mreža), koja sadrži određeni broj računala i drugih mrežnih uređaja međusobno povezanih prospojnicima ili usmjerivačima, a koji imaju zadatak osiguravanja komunikacije mrežnih elemenata unutar određene lokacije.

Dodano slovo u WLAN (Wireless local area network) kratici označava bežičnu vezu. To je vrsta mreže u kojoj se podaci ne prenose preko kabela, nego preko nekolicine bežičnih odašiljača i prijemnika koji rade u određenom standardiziranom frekvencijskom pojasu. Bežične mreže su zastupljene širom svijeta zbog svoje fleksibilnosti i jednostavnosti.

### **2.1. Sastavni dijelovi lokalnih računalnih mreža**

Sastavni dijelovi računalnih mreža se mogu podijeliti na hardverske komponente i softverski dio.

#### **2.1.1 Hardverske komponente**

Komponente računalnih mreža uključuju ključne dijelove mrežne opreme koji su potrebni za ispravno funkcioniranje mreže u cijelosti. Te hardverske komponente uključuju mrežnu opremu kao što su kabel, koncentrator, prospojnik, mrežnu karticu kao i usmjerivač. Neke komponente se mogu ukloniti ovisno o vrsti mreže i traženim performansama. Kao primjer se može predstaviti koncentrator ili kabel u bežičnoj mreži koji nisu potrebni za ispravno funkcioniranje.[1]

-Mrežna kartica je uređaj koji računalu omogućuje komunikaciju s drugim računalom ili mrežom. Pomoću jedinstvenih hardverskih adresa (MAC adresa) tvornički programiranih na kartičnom čipu. Protokol podatkovne veze koristi te adrese za otkrivanje drugih sustava na mreži tako da može prenositi podatke na ispravno odredište putem žične ili bežične veze. Postoje dva oblika mrežnih kartica: žičani i bežični. Mrežna kartica koja se koristi za žičani prijenos podataka koristi kabele i konektore kao medij za prijenos, dok je u bežičnoj kartici veza sastavljena pomoću antene koja koristi bežičnu tehnologiju prijenosa pomoću radiovalova. Trenutno sva prijenosna računala su integrirana s bežičnom mrežnom karticom uz dodatnu mogućnost spajanja na pristupnu točku putem Ethernet kabela. Mrežne kartice dolaze s različitim brzinama, trenutne standardne mrežne kartice izrađene su s gigabitnom

brzinom veze koja podržava sporije brzine, međutim stvarna brzina prijenosa određena je brzinom cijele lokalne mreže i mogućnostima usmjerivača.

-Hub (koncentrator) je mrežna komponenta koja dijeli mrežnu vezu kao središnje križanje za više terminalnih uređaja. Kada računalo zatraži informacije od mreže ili određenog računala, ono šalje zahtjev koncentratoru putem kabela. Razdijelnik prima zahtjev i emitira ga cijeloj mreži. Svaki uređaj u mreži tada provjerava da li su podaci namijenjeni njemu te u odnosu na zaključak prihvaća odnosno odbacuje podatke. Valja napomenuti da koncentratoru u mreži zahtijevaju veću propusnost te ograničavaju komunikaciju. Trenutno su koncentratori gotovo u potpunosti zastarjeli i zamijenjeni naprednijom mrežnom komunikacijskom opremom.

-Preklopnik (switch) se može definirati kao koncentrator s naprednim značajkama kao što su mogućnosti stvaranja tablica spojenih računala kao i određivanja određenog porta komuniciranja. Pomoću fizičkih adresa uređaja određuje se na koji port odlazi određena informacija. Za razliku od koncentratora preklopnici ne emitiraju primljenu poruku cijeloj mreži, već analiziraju na koji bi se sustav ili port trebala prenijeti poruka. Preklopnik izravno povezuje izvor i odredište što u teoriji povećava brzinu mreže te se obično koristi za mreže od deset ili više uređaja.

-Usmjerivač (router) je mrežna komponenta koja se koristi za povezivanje lokalne mreže s internetskom vezom. Usmjerivači se na sličan način koriste za povezivanje jedne lokalne mreže s drugom, često preko velikih udaljenosti putem komercijalnih davatelja (operatora). Usmjerivači zapravo predstavljaju pametne preklopnike koji mogu prepoznati druge elemente u topologiji računalne mreže. Glavna prednost leži u tome što imaju mogućnost dinamičkog ažuriranja vlastitih informacija o usmjeravanju otkrivajući kada je put do mreže zagušen i u tom slučaju pronalaženje drugog optimalnijeg puta. Na izbor žičanih ili bežičnih usmjerivača utječu fizičke postavke, brzina i trošak.

-Analogni ili digitalni mrežni modem omogućuje povezivanje na internet preko postojeće telefonske linije. Ove vrste modema obično nisu integrirane s matičnom pločom računala, već dolaze kao zasebni uređaji koji se mogu instalirati na PCI utore koji se nalaze na matičnoj ploči. Modem nije potreban za LAN, ali je potreban za internetsku vezu putem dial-up i DSL pristupne tehnologije.

-Mediji za prijenos podataka predstavljaju važnu ulogu u cjelovitosti bilo koje mreže s obzirom da uređaji koji nisu dobro ili pravilno povezani putem medija za prijenos podataka neće ispravno raditi. Postoji nekoliko vrsta prijenosnih medija koji se koriste u lokalnoj računalnoj mreži poput UTP kabela, ethernet kabliranja, koaksijalnog kabela kao i svjetlosnog kabela za prijenos velike količine podataka. Za razliku od prethodno navedenih medija za komuniciranje bežična lokalna računalna mreža koristi zrak kao medij za prijenos podataka unutar mreže pomoću radiovalova.

### **2.1.2 Softverske komponente**

Softver se može definirati kao inteligentni dio sustava računalnih mreža koji spaja sve komponente u jednu cijelinu kako bi sustav ispravno funkcionirao. Najčešći mrežni softver koristi skup TCP/IP protokola. Paket je strukturiran od stvarnih slojeva softvera, od kojih svaki ima svoju funkciju za prijenos podataka korištenjem sedmoslojnog OSI referentnog modela. Svi heterogeni računalni sustavi mogu međusobno komunicirati koristeći isti skup pravila koje daje paket, bez obzira na varijacije u hardveru ili operativnim sustavima. Mrežni poslužitelj se može definirati kao digitalna banka za masovnu pohranu podataka. Mreže koriste poslužitelje za čuvanje podataka kojima korisnici mogu pristupiti.[1]

## **2.2 Podjela bežičnih računalnih mreža prema geografskom prostoru pokrivanja**

Postoji nekoliko različitih vrsta računalnih mreža koje se mogu karakterizirati veličinom i svojom svrhom. Veličina mreže može se izraziti geografskim područjem koje pokriva kao i brojem računala koji su dio mreže:

-Osobna mreža ili PAN (Personal Area Network)

je računalna mreža organizirana oko pojedinačne osobe i postavljena isključivo za osobnu uporabu. Često se koriste uređaji poput računala, telefona, pisača, tablet ili neki drugi osobni uređaj kao što je PDA. Razlog posebne klasifikacije osobne mreže leži u tome da se informacije prenose preko uređaja koji su u blizini umjesto da se šalju putem LAN-a ili WAN-a. PAN mreže se najčešće koriste za prijenos datoteka, e-pošte, fotografija ili glazbe. Ako se prijenosi obavljaju preko bežične osobne mreže to se naziva WPAN(Wireless Personal Area Network) odnosno bežična osobna mreža.

-Lokalna mreža ili LAN (Local Area Network)

pruža mogućnost umrežavanja grupi računala u neposrednoj blizini, kao što je to slučaj u zgradi, školi ili kući. Lokalne mreže su obično konstruirane kako bi se omogućilo dijeljenje resursa i usluga između određenog broja računala kao i pružanje pristupa Internetu. Nekoliko lokalnih mreža može biti samostalno ili se može povezati s drugim LAN ili WAN mrežama. Tradicionalne kućne mreže su pojedinačne lokalne mreže ali pritom valja napomenuti da je moguće imati više od jedne lokalne mreže unutar određenog prostora

-Velegradska mreže ili MAN (Metropolitan Area Network)

predstavlja mrežu koja povezuje korisnike unutar geografskog područja koje nije moguće pokriti lokalnom mrežom, ali pritom je manja od mreže širokog područja. Pojam MAN mreže se primjenjuje na međusobno povezivanje uređaja ili mreža unutar jednog grada, u pravilu je u vlasništvu jednog entiteta kao što je vladino tijelo ili neka velika korporacija. Učinkovite su mreže koje pružaju veliku brzinu prijenosa informacija putem optičkih kabela.

-Mreža širokog područja ili WAN (Wide Area Network)

je komunikacijska mreža koja se prostire na velikom geografskom području. U pravilu ona povezuje više lokalnih ili MAN mreža u jednu cjelinu kako bi se omogućila obostrana komunikacija. Cilj WAN mreže je upravo omogućiti međusobnu komunikaciju fizički udaljenih manjih mreža. Kao najpoznatija WAN mreža može se predstaviti Internet ili javna telefonska mreža.[2]

U smislu svrhe postojanja, gore navedene mreže smatraju se općenitim mrežama što znači da se koriste za širok broj usluga od slanja datoteka do pristupa internetu. Međutim neke vrste mreža imaju vrlo određenu svrhu poput kontrolnih mreža (CAN) mreža za pohranu (SAN) kao i virtualna privatna mreža (VPN).

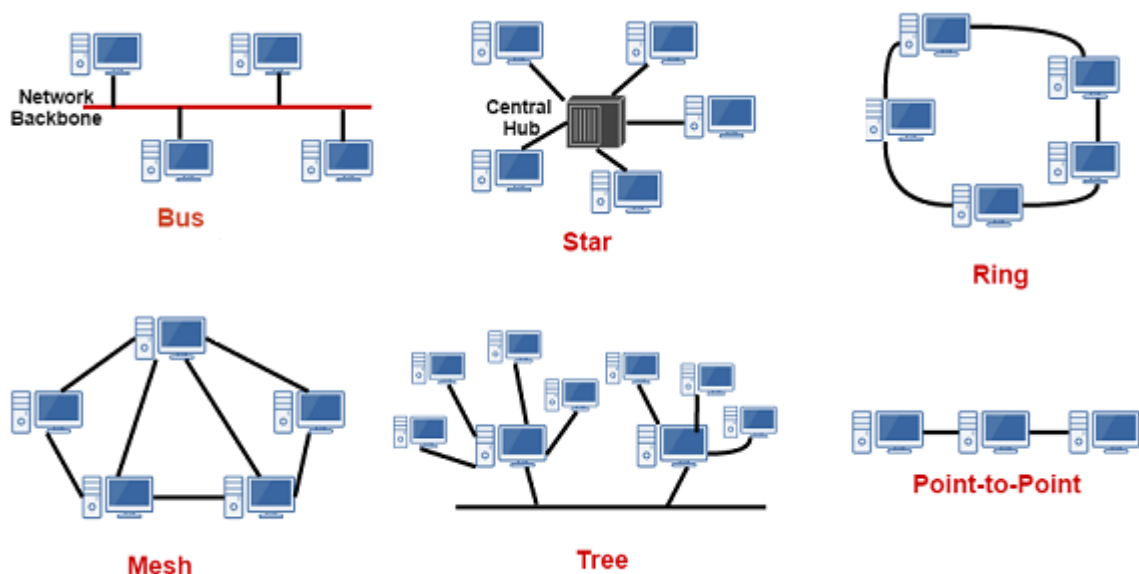
-Upravljačka mreža (CAN) je komunikacijski sustav napravljen kako bi pružio dobre performanse u otežanim uvjetima u prvenstveno u industrijskoj i automobilskoj primjeni. Ova mreža omogućuje mnogim mikrokontrolerima i različitim vrstama uređaja međusobno komuniciranje u realnom vremenu i bez glavnog računala. CAN sabirnica za razliku od Etherneta ne zahtijeva nikakve sheme adresiranja, budući da čvorovi mreže koriste jedinstvene identifikatore. To daje čvorovima informacije o prioritetu i hitnosti prenesene poruke.

-SAN (Storage Area Network) su najčešće korištene mreže za pohranjivanje podataka koje se koriste unutar poduzeća, a od ključne važnosti su za poslovne aplikacije. Moraju imati visoku propusnost i nisku latenciju. Pohranjivanjem podataka u centraliziranu zajedničku bazu podataka, SAN omogućuju organizacijama primjenu dosljednih metodologija i alata za sigurnost, zaštitu podataka i oporavak od katastrofe.

-VPN (Virtual Private Network) predstavlja sigurnu i kriptiranu vezu preko koje se pristupa manje sigurnim mrežama kao što je Internet. VPN radi pomoću javne infrastrukture, pritom zadržavajući privatnost pomoću sigurnosnih procedura i protokola za tuneliranje. Dodatna razina sigurnosti uključuje kriptiranje ne samo podataka nego i mrežnih adresa. VPN se najčešće koristi unutar poduzeća, ali i među privatnim korisnicima kojima je potreban pristup Internetskim lokacijama koje su na tom geografskom području zabranjene ili cenzurirane. Dva najčešća tipa VPN su VPN za udaljeni pristup i site-to-site VPN.[2]

### 2.3. Topologije računalnih mreža

Logička topologija mreže predstavlja vizualni prikaz načina na koji su uređaji povezani i toka podataka između njih, a fizička topologija detaljno opisuje kako su uređaji povezani. Topologija mreže može se prikazati kao mapa koja omogućuje administratoru detaljan uvid u povezane uređaje pomoću kojih se ostvaruju lakše tehnike rješavanja problema i održavanja mreže u cijelosti. Postoji više vrsta različitih topologija koje su prikazane na slici 1.



Slika 1.: Različite mrežne topologije[3]

-Sabirnička topologija je vrste mreže u kojoj je svako računalo spojeno na jedan glavni kabel (sabirnicu). Podaci se prenose samo u jednom smjeru i svaki je uređaj spojen s vlastitim kablom na sabirnicu. Predstavlja najjednostavniju i najjeftiniju izvedbu ali je upravo glavno ograničenje u slučaju kvara sabirnice jer onda dolazi do pada cijele mreže.

-Zvezdasta topologija je jedna od najčešće korištenih postavki mreže. U ovoj konfiguraciji svaki se čvor povezuje s centralnim mrežnim uređajem, kao što je preklopnik ili usmjerivač. Središnji mrežni uređaj djeluje kao poslužitelj, a periferni uređaju kao klijenti. Neke od glavnih prednosti ove mreže su centralizirano upravljanje kao, jednostavno dodavanje drugih uređaja u mrežu i kvar jednog računala u mreži ne utječe na funkcioniranje mreže. Zvezdaste mreže su u pravilu skuplje od ostalih topologija, pogotovo korištenjem usmjerivača ili preklopnika kao središnjeg mrežnog uređaja. Glavni problem nastaje prilikom kvara središnjeg računala koje za posljedicu ima pad cijele mreže.

-Prstenasta topologija je mrežna konfiguracija u kojoj veze između računala stvaraju kružni put podataka. Svaki umreženi uređaj povezan je sa susjednim uređajem sa dvije strane. Paketi podataka putuju od izvorišnog uređaja preko susjednih uređaja do odredišta. Postoje prstenaste topologije koje dozvoljavaju putanju podataka samo u jednom smjeru ili u oba smjera. Glavni nedostatak leži u tome što ako je bilo koja pojedinačna veza u prstenu prekinuta, mijenja se tok podataka koji utječe na cijelu mrežu.

-Mesh topologija predstavlja mrežnu konfiguraciju u kojoj su svako računalo i mrežni uređaj međusobno povezani, što omogućuje distribuciju podataka preko svih računala čak i ako se jedna od veza pokvari. Ova topologija se obično koristi u bežičnim mrežama. Postoje različite izvedbe mesh topologije kao što su full-mesh i half-mesh izvedba. Ova izvedba mrežne topologija upravlja velikim količinama prometa, jer više uređaja istovremeno može prenositi podatke. Kvar jednog uređaja kao ni dodavanje dodatnih uređaja ne uzrokuje prekid mreže ili prijenos podataka. Trošak implementacije je viši od ostalih topologija što upravo ovu izvedbu čini manje traženom opcijom. Izgradnja i održavanje također predstavljaju problem zbog kompleksnosti mreže.

-Stablata topologija je kombinacija zvezdaste i sabirničke topologije. U ovoj izvedbi

temeljna čvorišta sabirničke topologije su zamijenjena zvjezdastom topologijom. Stablasta topologija je poprilično skalabilna kako je moguće dodavati više čvorova u hijerarhijskom lancu. Laka je za održavanje i pronalaženje kvarova ali zbog velikog kabliranja nije pogodna za neke određene slučajeve. Problem nastaje kad dođe do kvara na glavnoj sabirnici, onda s radom prestaje cijela mreža.

-Point-to-point topologija je najjednostavnija izvedba koja povezuje dva čvora izravno zajedničkom vezom. Cijeli propusni opseg zajedničke veze rezerviran je za prijenos između ta dva čvora. Point-to-point povezivanje koristi stvarnu duljinu vodiča za spajanje dva kraja, ali moguće su i druge opcije kao što su satelitske veze ili bežična komunikacija. Ova topologija pruža najmanju latenciju i najveću pojasnu širinu jer postoje samo dva čvora koja imaju cijeli kapacitet na raspolaganju, ali se koristi samo za mala područja gdje su čvorovi blisko smješteni. Glavni problem je upravo u kvaru jednog od čvorova jer dolazi do pada procesa prijenosa podataka.[4]

### **3. Arhitektura 802.11**

Bežične lokalne mreže bi se najlakše mogle definirati kao one mreže koje umjesto kabela koriste valove visoke frekvencije za međusobno povezivanje uređaja. Korisnici povezani WLAN-om mogu se kretati unutar područja mrežne pokrivenosti. Većina WLAN-ova temelji se na standardu IEEE 802.11

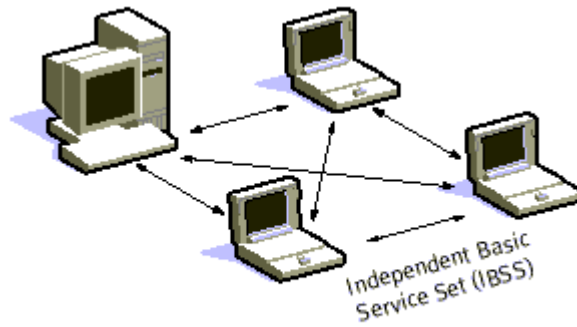
#### **3.1. Komponente IEEE 802.11**

Komponente 802.11 arhitekture se mogu svrstati u tri skupine:

-(1) Pristupne stanice i klijenti – Pristupne stanice imaju zadatak obuhvaćanja svih uređaja koji su spojeni na bežičnu lokalnu mrežu. One su pristupne točke koji imaju ulogu bežičnog usmjerivača koji pruža uslugu pristupa mreži. Za razliku od pristupnih točki klijenti su radne stanice, računala i ostali terminalni uređaji koji pristupaju mreži putem bežične pristupne točke WAP (eng. Wireless access point). Realizacija komunikacije između klijenta i pristupne točke se događa radiofrekvencijskim putem preko SSID (eng. Service set identifier) identifikatora odnosno skupa alfanumeričkih znakova koje pristupne točke same emitiraju na frekvencijskom području, a na koje se klijenti spajaju koristeći određene sigurnosne protokole.

-(2) Osnovni skup usluga BSS (eng. Basic Service set) se može prikazati kao spoj dviju ili više stanica koje međusobno komuniciraju i tvore ćeliju odnosno osnovni skup usluga. BSS koji je izoliran od bilo kakve druge mreže naziva se nezavisni osnovni skup usluga IBSS (eng. Independent Basic Service Set) ili Ad-hoc mreža. Dva ili više BSS-a su međusobno spojeni pomoću distribucijskog sustava DS (eng. Distribution system).

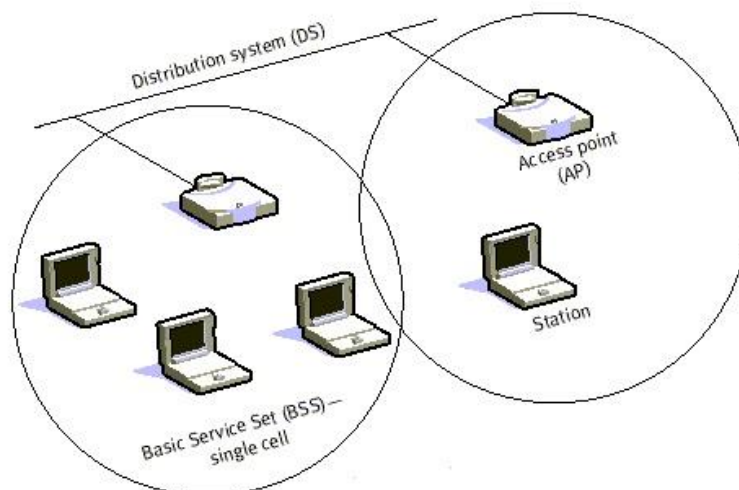




Slika 2.: Nezavisni osnovni skup usluga – Ad-hoc[5]

U slučaju na slici stanice odnosno klijenti komuniciraju u peer-to-peer načinu rada. Ne postoji središnja stanica niti restrikcija komunikacije u bilo kojem smjeru. Uglavnom su te mreže spontane i mogu se brzo realizirati ali su vremenski i prostorno ograničene.

Za razliku od Ad-hoc načina rada jedan od zahtjeva IEEE 802.11 je također interoperabilnost postojeće žičane i bežične infrastrukture odnosno infrastrukturni način rada. U pravilu pristupna točka funkcionira kao most između bežičnog i žičnog dijela mreže. Ovaj most se još i naziva portal odnosno logička vrata između bežičnog i žičanog dijela. Provedba DS-a nije specificirana u 802.11 standardu stoga se distribucijski sustav može stvoriti iz postojećih ili novih tehnologija.



Slika 3.:Infrastrukturni način rada[6]

-(3) Prošireni skup usluga ESS (eng. Extended service set) nastaje kada se više BSS-ova infrastrukturno povežu te kao produkt mreža pruža veći stupanj mobilnosti i pokrivenosti korisnicima. Pristupne točke međusobno komuniciraju dok paralelno vode računa o tome koja će pristupna točka komunicirati s određenim klijentom preko distribucijskog sustava. Ostatak mreže nije „svjestan“ komunicira li s bežičnim klijentom s obzirom da samo poznaje potrebnu MAC (eng. Media Access Control) adresu odredišta.[4]

### **3.2 Skup usluga 802.11 arhitekture**

Područje koje obuhvaća skup usluga 802.11 arhitekture može se podijeliti na 2 dijela. Prvi dio pripada skupini usluga koje pruža pristupna stanica, a drugi dio u skupinu usluga za distribuciju podataka.

Skupina usluga pristupne stanice obuhvaća sposobnosti mreže kao što su:

-Autentifikacija – s obzirom da bežične lokalne mreže imaju ograničenu fizičku sigurnost koriste se usluge provjere autentičnosti za kontrolu pristupa. Svaka stanica koja koristi 802.11 standard, bilo da je dio neovisne BSS ili ESS mreže, mora koristiti uslugu provjere autentičnosti prije uspostavljanja veze. Postoje dvije usluge provjere autentičnosti definirane 802.11 standardom. Prva usluga predstavlja provjeru autentičnosti jednostavnim procesom u dva koraka, u prvom koraku stanica koja želi autentificirati drugu stanicu šalje upravljački okvir koji sadrži identifikacijske podatke. Prijemna stanica zatim šalje natrag okvir koji pokazuje i potvrđuje identitet prvobitne stanice. Druga usluga provjeravanja autentičnosti se izvodi putem dijeljenog ključa. Ovaj tip provjere pretpostavlja da je svaka stanica primila tajni zajednički ključ preko sigurnog kanala neovisnog o mreži preko kojeg se vrši autentifikacija.

-Deautentifikacija – se može prikazati na primjeru kada stanica pokreće proces deautentifikacije jer želi prekinuti vezu s drugom stanicom. U pravilu to je obavijest koja ne može biti odbijena i obavlja se slanjem okvira za provjeru autentičnosti u svrhu savjetovanja o prekidu rada.

-Privatnost – bežična lokalna mreža smatra se nesigurnom zbog podložnosti prisluškivanja i presretanja radiovalova od strane napadača. S obzirom na postojeće probleme 802.11 standardom definira WEP (eng. Wired Equivalent privacy) sigurnosni protokol za enkripciju

podataka koji značajno smanjuje rizik prislušivanja ili presretanja radiovalova.

Skupina usluga distribucijskog sustava pružaju funkcionalnost distribucijskom sustavu:

-Asocijacija – Svaka stanica mora inicijalno pozvati ovu uslugu nakon spajanja na pristupnu točku pri čemu se mapira distribucijski sustav kako bi se moglo pristupiti komunikaciji s bežičnim uređajem.

-Disasocijacija ili razrduživanje se koristi prilikom prekida postojeće veze. Ova usluga predstavlja obavijest, stoga niti jedna strana ne može odbiti raskid.

-Distribucija – pruža distribucijskom sustavu informacije za određivanje ispravnog odredišta BSS-a.

-Integracija – usluga integracije omogućuje isporuku MAC okvira kroz portal između distribucijskog sustava i ne-802.11 LAN-a. Funkcija integracije vrši konverziju podataka između LAN-a i WLAN-a

-Resasocijacija – omogućuje stanici da promijeni svoje trenutno stanje kako bi se spriječio gubitak podataka prilikom roaminga. Ova je usluga obavještava distribucijski sustav o trenutnom mapiranju između pristupne točke i stanice dok se stanica kreće s jedne BSS na drugu unutar ESS-a.[4]

### **3.3 Kvaliteta usluge 802.11**

Kvaliteta usluge (QoS – Quality of Service) se može definirati kao stupanj zadovoljstva krajnjeg korisnika isporučenom uslugom i jedno je od glavnih alata mjerenja performansi lokalnih mreža. S gledišta kvalitete usluge 802.11 standard nije dizajniran s prethodno ugrađenom QoS (eng. Quality of service) podrškom. Kašnjenje predstavlja osnovni problem pri isporuci zadovoljavajuće kvalitete usluge a može se odnositi na različite vrste kašnjenja kao što su: kašnjenje prospajanja, kašnjenje zbog čekanja u redu na isporuku te kašnjenje zbog čekanja na pristup zajedničkom mediju, kašnjenje zbog propagacije koje ovisi o udaljenosti korisničkog terminalnog uređaja od pristupne točke. Postoje određene klasificirane sheme za postizanje zadovoljavajućeg QoS-a kao što su:

-Diferencijacija usluga koja se postiže označavanjem prioriternih podataka u odnosu na

druge te njihovo raspoređivanje u mreži i klasificiranje prometa prema prioritetnim parametrima.[8]

-Kontrola pristupa i rezervacija frekvencijskog opsega - ova shema garantira QoS tijekom visokih prometnih opterećenja uz obavljanje kontrole i rezerviranja frekvencijskog pojasa za garantiranu isporuku.

-Prilagodba veze – ova shema koristi algoritme za praćenje omjera signala i šuma unutar kanala, kao i promjenu razine snage i dinamičkog prilagođavanja karakteristika u promjenjivim uvjetima unutar samog kanala. [8]

### **3.4 802.11 standardi**

IEEE 802.11 predstavlja skup standarda za komunikaciju unutar bežične lokalne mreže u 2.4 GHz odnosno 5 GHz standardiziranom frekvencijskom spektru. S obzirom na sve veće zahtjeve korisnika za većim performansama bežične mreže kao bitna stavka pri odabiru standarda je brzina prijenosa podataka koja je različita za svaki standard. Navedeni standardi koriste različite modulacijske tehnike prilikom komunikacije pomoću određenih protokola te su razvrstani u pet skupina 802.11a, 802.11b, 802.11g ,802.11n i 802.11ac koje su potekle od prvobitnog 802.11 standarda razvijenog 1997. Koji se još naziva 802.11 Legacy. [5]

-802.11a standard koristi sličan način rada kao i prvobitni 802.11 Legacy protokol. Ovaj standard radi u 5 GHz frekvencijskom području sa maksimalnom brzinom 54 Mbps, što je poboljšana propusnost u usporedbi s prvobitno razvijenim Legacy standardom. Prednost ovog protokola je fleksibilnost u multipleksiranju više kanala koja omogućava brži protok podataka te s obzirom da radi u 5 GHz frekvencijskom rasponu smanjena je interferencija ostalih uređaja koji rade na drugim 802.11 standardima, no nedostatak u radu predstavlja smanjena pokrivenost i mala brzina prijenosa.

-802.11b standard ima maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 11 Mbps te se pokazao kao najviše podržan, stabilan i isplativ standard uz određene sigurnosne nedostatke. Radi u 2.4 GHz frekvencijskom području, ima ograničen broj pristupnih točaka i najčešće koristi DSSS (eng. Direct sequence spread spectrum) tehnologiju. Upravo korištenje DSSS tehnologije

potrebno je zbog interferencija s različitim drugim uređajima koji rade u frekvencijskom opsegu od 2.4 Ghz.

-802.11g standard koristi 2.4 Ghz frekvencijski pojas uz maksimalnu teorijsku brzinu prijenosa koja iznosi 54 Mbps. Ovaj standard koristi naprednije tehnike frekvencijske podjele koja omogućuje kombiniranje više kanala u svrhu povećavanja propusnosti. Problem leži u ograničenosti standarda na isključivo jednu pristupnu točku kao i podloženost smetnjama uređaja koji rade u istom frekvencijskom opsegu.

-802.11n pruža tehnologiju MIMO (eng. Multiple Input-Multiple Output) koja koristi više predajnika kao i prijemnika signala kako bi se povećala brzina i kapacitet prijenosa podataka. Može raditi u oba frekvencijska područja uz brzinu od 600 Mbps.

-802.11ac dolazi kao zadnji među razvijenim standardima. Obitava u 5 Ghz frekvencijskom području uz posebne tehnologije dostiže brzinu do 6 Gbps.[7]

## 4. Performanse bežičnih računalnih mreža

Performanse računalnih mreža ovise o mnogo čimbenika. Iz pogleda korisničke perspektive najbitnija je propusnost koja će zadovoljiti komunikacijske potrebe. Praćenjem performansi mreže moguće je na vrijeme pravilno reagirati u slučaju poteškoća koje nastaju u mreži, na isti način dugoročnim praćenjem rada mreže omogućuje se bolje planiranje mrežnih kapaciteta koji se potencijalno mogu dodati u budućnosti. U nastavku su navedeni neki od najvažnijih čimbenika koji utječu na degradaciju performansi mreže i korisničkog iskustva, a koji su u nastavku ovog rada simulirani u pojedinim primjerima.

### 4.1 Kašnjenje

Kašnjenje ili latencija se definira kao vrijeme potrebno da se paket ili bit prenese od izvorišta do odredišta i varira za sve terminalne uređaje. Najčešće se mjeri u milisekundama i obično se izražava kao prosječno odnosno maksimalno kašnjenje. Određene komponente kašnjenja mogu biti fiksne, dok su druge varijabilne i teško ih je predvidjeti jer ovise o trenutačnom opterećenju mreže kao i performansama pojedinih mrežnih elemenata. U nastavku su navedeni neki od čimbenika koji utječu na kašnjenje:

-Vrsta pristupa mreži ima važan utjecaj na kašnjenje. Dobar primjer predstavlja satelitski internet. Sateliti se nalaze Zemljinoj orbiti, kada korisnik želi pristupiti Internetu šalje zahtjev koji putuje do satelita i onda opet natrag prema korisniku. Signal mora obaviti višestruke putove prema satelitu i nazad kako bi se osigurala komunikacija što uzima puno vremena. Kao rezultat toga satelitske konekcije mogu imati vrlo visoko kašnjenje tj. ping od 500 milisekundi, usporedno kablaska konekcija korištena za istraživanje u ovom radu ima ping od 12 milisekundi.

-Udaljenost također posjeduje ulogu kašnjenja u lokalnim mrežama. Što je korisnik sa terminalnim uređajem udaljeniji od pristupne točke, dulje će trebati informaciji da dostigne odredište

-Zagušenost mreže može imati utjecaj na kašnjenje. Što je manja pojasna širina pristupne točke, veća je vjerojatnost da će mreža doživjeti zagušenje pri korištenju više terminalnih

uređaja

-Mnogi drugi čimbenici mogu utjecati na kašnjenje poput kašnjenja zbog kodiranja, komprimiranja, paketizacije, prijenosa na linku, usmjeravanja u čvorovima i čekanja u međuspremniku usmjerivača.[14]

## **4.2 Propusnost**

Ovaj parametar izražava realan kapacitet za prijenos podataka, dok pojasna širina predstavlja teorijsku granicu propusnosti definiranu fizičkim medijem. Izražava se brojem prenesenih bita u jedinici vremena i uvijek je manji od pojasne širine. Propusnost određenog računala ovisi o čimbenicima kao što su brzina procesorske obrade podataka, količina memorije i performansama operativnog sustava dok propusnost mreže dodatno ovisi o faktorima kao što su vrsta medija kojim se prenosi signal, brzini obrade podataka u usmjerivaču i drugim mrežnim uređajima, prioritizaciji određenih vrsta prometa od strane operatora, greškama koje su se dogodile u prijenosu, zagušenosti mreže i standardu odnosno protokolu koji se koristi. Treba napomenuti kako postoji odnos između kašnjenja i propusnosti, umnožak tih dviju vrijednosti daje količinu podataka u bitovima koja odjednom može biti prisutna u računalnoj mreži.

## **4.3 Varijacija kašnjenja**

Varijacija kašnjenja (jitter) se može definirati kao odstupanje kašnjenja od svoje prosječne vrijednosti, pretežno se pojavljuje u velikim paketskim mrežama i mjeri se u milisekundama. Jitter je najčešće uzrokovan različitim stupnjevima zagušenja u mreži za vrijeme prijenosa paketa što za rezultat ima degradaciju korisničkog iskustva. Vrlo je važno pri korištenju multimedijских aplikacija poput VoIP-a smanjiti jitter što je više moguće, u pravilu VoIP aplikacije toleriraju jitter do 30 milisekundi. Kod mrežnih sustava s velikom varijacijom kašnjenja, multimedijски sadržaj se može reproducirati jedino ako se dijelovi sadržaja spremaju u spremnik (buffer) na strani prijemnog adaptera i reproduciraju s vremenskim pomakom koji je veći od kašnjenja. Kako bi se odredila optimalna veličina međuspremnika na prijemnoj strani paketi koji stižu s vremenskim pomakom od prosječnog kašnjenja se obilježavaju i uspoređuju s vremenima paketa koji su uspješno preneseni u zadovoljavajućem periodu vremena.

## 4.4 Odnos signal-šum

Kako bežične mreže koriste signale u obliku radio valova uz pomoć snage signala možemo odrediti koliki je signal na nekom određenom mjestu. Omjer signal-šum nam govori o iskoristivosti tog signala jer postoje slučajevi u kojem može postojati jak signal na nekom mjestu s postojanjem jako visoke razine pozadinskog šuma, u tom slučaju ni 100%-na jačina signala neće omogućiti zadovoljavajuće potrebe komunikacije. Omjer signal-šum zapravo nije omjer već razlika u decibelima između primljenog signala i razine pozadinskog šuma. Primjerice, ako prijemnik primi signal od -75dBm, a suma signala šuma iznosi -90 dBm, omjer signal-šum je 15 dB. Pozadinske smetnje mogu izazvati mikrovalne pećnice, bežični telefoni, Bluetooth uređaji, bežične video kamere, bežični kontrolori i još mnogo toga.

Do oštećenja podataka i retransmisije dolazi kada je omjer signal-šum premalen. U mrežama 802.11 ponovni prijenos negativno utječe na propusnost i kašnjenje. Omjer signal-šum 10-15 dB je prihvaćeni minimum za uspostavljanje nepouzdanе veze, omjer 16-24 dB obično se smatra lošim omjerom, omjer 25-40 dB kao dobar, a omjer od 41 dB ili više smatra se odličnim.[12]

## 4.5 Bit Error Rate

Kada se podaci prenose preko podatkovne veze, postoji mogućnost pojavljivanja pogreške unutar sustava koja može ugroziti integritet sustava. Uz pomoć BER (Bit Error Rate) omjera moguće je postići procjene performansi sustava u svrhu poboljšanja sustava. Kao što naziv govori Bit Error Rate predstavlja omjer pogrešno prenesenih bitova i ukupnog broja bitova. Ako je medij preko kojeg se prenose podaci između odašiljača i prijemnika dobrih karakteristika i ima visok omjer signal-šum, BER će biti vrlo malen i neće imati primjetnog efekta na cjelokupni sustav. Ipak ako postoji dovoljna razina pozadinskog šuma, postoji vjerojatnost da će se morati uzeti u obzir BER.

Na odnos pogrešno prenesenih bitova i ukupnog broja bitova može utjecati mnogo čimbenika koji se moraju uzeti u obzir prilikom planiranja bežičnih računalnih mreža. A neki od najvažnijih su:

-Interferencije koje nastaju zbog utjecaja vanjskih faktora i najčešće ne mogu biti reducirane.



Ipak moguće je manipulirati interferencijama smanjenjem pojasne širine. Opseg interferencija može biti smanjen po cijeni manje propusnosti.

-Pojačavanje snage odašiljača je još jedan od slučajeva koji se može koristiti uz pravilno balansiranje kako odašiljač nebi utjecao na druge potencijalne uređaje u okolini svojom jakom snagom

-Sheme modulacija nižeg reda se mogu koristiti na štetu protoka podataka kao poboljšanje u nekim uvjetima

Potrebno je uravnotežiti sve dostupne faktore kako bi se postigao zadovoljavajući BER. U realnim uvjetima nije moguće postići sve zahtjeve. Međutim, čak i ako BER nije zadovoljavajuć mogu se izvršiti daljnji kompromisi u pogledu razine ispravljanja pogrešaka koji se uvode u podatke koji se prenose iako se više suvišnih podataka mora slati s višim razinama ispravljanja pogrešaka.[13]

## **4.6 Interferencije**

Činjenica je da bežični signali propagacijom kroz atmosferu postaju podložni različitim vrstama smetnji koje oslabljuju i deformiraju funkciju početnog signala. Prilikom planiranja bežične mreže važno je razmatranje svih prepreka koje bi mogle ometati izvor signala.[9] U nastavku su navedeni neki od najčešćih čimbenika koji uzrokuju smetnje:

-Fizički objekti: stabla, zidovi zgrade i druge fizičke strukture su neki od najčešćih izvora smetnji. Gustoća materijala korištenih prilikom konstrukcije zgrade određuje broj zidova kroz koje radiofrekvencijski signal može proći a da još uvijek održava adekvatnu pokrivenost. Betonska i čelična konstrukcija predstavljaju poseban problem prolaska signala, a nerijetko i potpunog sprječavanja prolaska signala.

-Radiofrekvencijske smetnje : velik broj bežičnih tehnologija kao i mnogih drugih uređaja koristi frekvencijski raspon 2.4 GHz. S obzirom na dijeljenje zajedničkog kanala postoji mogućnost od interferencije koja za posljedicu ima šum i slabljenje signala.

-Električne smetnje: električne smetnje dolaze od uređaja kao što su računala, hladnjaci,

ventilatori, rasvjetna tijela ili bilo koji drugi električni uređaj. Utjecaj električnih smetnji na signal ovisi o blizini električnog uređaja i pristupne točke.

-Okolni čimbenici kao što su vremenski uvjeti mogu imati ogroman utjecaj na integritet bežičnog signala. Munja, na primjer, može uzrokovati električne smetnje, a magla može oslabiti signale koji propagiraju. Vremenski uvjeti ipak nemaju velik utjecaj u zatvorenom prostoru, međutim, postoje drugi izazovi prilikom planiranja bežične mreže u zatvorenom prostoru koji su prikazani u tablici ispod.[9]

PREPREKA	PROBLEM PROPAGACIJE
DRVO	NIZAK
GIPS (ZID)	NIZAK
NAMJEŠTAJ	NIZAK
STAKLO	NIZAK
PODEBLJANO STAKLO	SREDNJI
ŽIVA BIĆA	SREDNJI
MRAMOR	SREDNJI
BETONSKI BLOKOVI	SREDNJI/VELIK
ZRCALA	VELIK
METALI	VELIK
VODA	VELIK

Tablica 1.:Prikaz najčešćih interferencija na bežične signale u zatvorenim prostorima

SST (eng. Spread spectrum technology) tehnike predstavljaju metode pomoću kojih se signal generiran s određenom pojasnom širinom namjerno širi u frekvencijskoj domeni, što rezultira signalom sa većom pojasnom širinom. Ove se tehnike koriste iz više razloga, uključujući sigurnosni aspekt, povećanje otpornosti na prirodne smetnje, šum te ostale interferencije kao i sprečavanje curenja i ograničavanje gustoće protoka energije. Postoje dvije vrste SST-a :

-FHSS (eng. Frequency-Hopping Spread-Spectrum) stoji za tehnologiju koja zahtijeva

upotrebu uskopojasnih signala koji mijenjaju frekvencije prateći određeni uzorak. Primjerice, u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz koji koristi 802.11 b/g standard, frekvencijski raspon je podijeljen na 70 uskih kanala od 1 MHz. Koristeći FHSS signal u prosjeku između dvadeset i nekoliko stotina milisekundi prelazi u novi kanal prateći pritom unaprijed određen uzorak. Način rada ove tehnologije čini je prikladnom za instalacije namijenjene za pokrivanje velikog geografskog područja kao i prostora gdje upotreba usmjernih antena za minimiziranje utjecaja okolišnih čimbenika nije moguća

-DSSS (eng. Direct Sequence Spread Spectrum) predstavlja tehnologiju izravnog širenja frekvencijskog spektra. Kod DSS prijenosa, signal se širi preko cijelog spektra prijenosne frekvencije. Za svaki bit podatka koji se šalje, također se šalje redundantni bitni uzorak. Ovaj 32-bitni uzorak naziva se čip. Ti redundantni bitovi podataka osiguravaju sigurnost i dostavu. Razlog zbog kojeg su prijenosi tako sigurni i pouzdani je jednostavno zato što sustav palje redundantne kopije podataka, a samo je jedan primjerak potreban za potpuni prijenos informacije. DSSS može minimizirati učinke interferencije i pozadinskog šuma. Generalno DSSS ima prednost u tome što pruža bolju sigurnost i isporuku signala od FHSS-a, ali je osjetljivija tehnologija u pogledu utjecaja okolišnih čimbenika.[10]

## **4.7 Sigurnost**

Uzimajući u obzir bilo kakvu računalnu mrežu, a posebno bežičnu, sigurnost je jedan od najvažnijih aspekata. Napadači mogu lako presresti bežični promet s obzirom da se kreće prostorom i tako izvući jako bitne podatke poput lozinki ili brojeva kreditnih kartica. Nekoliko sigurnosnih tehnologija za bežičnu mrežu je razvijeno kroz protekla dva desetljeća kako bi se korisnici osigurali od vanjskih napada iako su neke od tih tehnologija relativno lake za razbijanje. Mrežni sigurnosni protokoli obično koriste enkripcijsku tehnologiju. Enkripcija radi na principu šifriranja podataka po nekom određenom algoritmu koji znaju samo pošiljatelj i primatelj koji su većini slučajeva neka vrsta računala kako bi bilo onemogućeno da treća strana pročita iste podatke. Uz enkripciju, autentifikacijska tehnologija računalnim mrežama može potvrditi identitet uređaja ili osobe koja pokušava pristupiti mreži. Neki operativni sustavi u radu s mrežom imaju ugrađen autentifikacijski protokol temeljen na korisničkom imenu i izabranoj lozinci. Kućni mrežni usmjerivači autentificiraju administratore zahtijevajući ih da unesu posebne vjerodajnice za prijavu. Tradicionalne bežične mrežne veze

prolaze kroz usmjerivač ili neku sličnu pristupnu točku. Alternativno WLAN sustav podržava način rada koji se naziva Ad-hoc koji spaja dva ili više uređaja direktno bez pristupne točke, s uvjetom da su uređaji na bliskoj udaljenosti. S obzirom da nedostaje pristupna točka, sigurnost ovog načina funkcioniranja mreže je slaba.[10]

Danas većina terminalnih uređaja podržava tri sigurnosna standarda:

-1 WEP (eng. Wired Equivalend Privacy) koji je izvorno sigurnosni standard napravljen za bežične mreže i dalje se koristi širom svijeta iako je podležan relativno jednostavnom probijanju. Postoji više vrsta koje isključivo administrator može odabrati kao što su 64-bit, 128-bit i 256-bitni ključevi. Dok ostali uređaji mogu koristiti samo jedan način

-2 WPA (eng. Wi-Fi Protected Access) – ovaj standard je napravljen kako bi zamijenio WEP standard. Uređaji koji imaju sposobnost rada s bežičnom mrežom obično podržavaju višestruke načine korištenja WPA tehnologije. Postoje tradicionalni WPA također poznat pod nazivom WPA-Personal ili WPA-PSK (eng. Pre-shared key) koji je dizajniran za kućnu uporabu i WPA-Enterprise koji je dizajniran za korporativno okruženje. WPA2 je poboljšana verzija WPA tehnologije koju podržava gotovo sva oprema danas koja se koristi u WLAN industriji.

Zajednička stavka WEP i WPA/WPA2 je ta što upotrebljavaju bežični enkripcijski ključ, dugi slijed heksadecimalnih brojeva. Odgovarajuće vrijednosti ključa moraju biti zabilježene na pristupnoj točki i korisničkom uređaju koji ima pristup istoj. U svijetu mrežne sigurnosti, izraz lozinka se referira na pojednostavljenu formu enkripcijskog sigurnosnog ključa koji koristi samo alfanumeričke znakove umjesto heksadecimalnih vrijednosti.[10]

## 5.OPNET programsko okruženje

OPNET Technologies Inc. Predstavlja jednu od vodećih korporacija na području razvoja i izdavanja softvera namijenjenih simulaciji, modeliranju i analizi računalnih mreža. IT Guru i Modeler su dva najrazvijenija softvera namijenjena simulaciji računalnih mreža potekla od ovog proizvođača, koja su široko primijenjena u edukacijskom području kao i industriji i državnim institucijama u svrhu simulacije, analize te predviđanja performansi za određene uvjete unutar računalnih mreža. Upravo se u ovom radu koristi OPNET Modeler 14.7 na Windows 7 64-bit operativnom sustavu kao podrška pri simulaciji različitih scenarija bežičnih računalnih mreža.[11]

### 5.1 Važne karakteristike primjenjene u simulaciji

Primjenom OPNET programske podrške potrebno je konfigurirati popriličan broj atributa kako bi se provela ispravna simulacija. U nastavku su navedeni najvažniji atributi koji će se ponavljati u različitim slučajevima simulacije:

Dimenzija WLAN mreže: 100m x 100m

Standard: 802.11g (Extended Rate PHY) 54 Mbps

Wireless router – pristupna točka: wlan\_ethernet\_router\_adv (54 Mbps)

Switch: ethernet16\_switch

Server: ethernet server sa svim pripadajućim servisima ovisno o slučaju

Aplikacije: Web Browsing(Heavy), , VoIP PCM

Bežična radna stanica [mobile\_node\_1] : wlan\_wkstn\_adv (54 Mbps)

Snaga svih bežičnih odašiljača: 5 mW

Fizički link: 100BaseT

Vrijeme trajanja simulacije za svaki slučaj: jedan sat

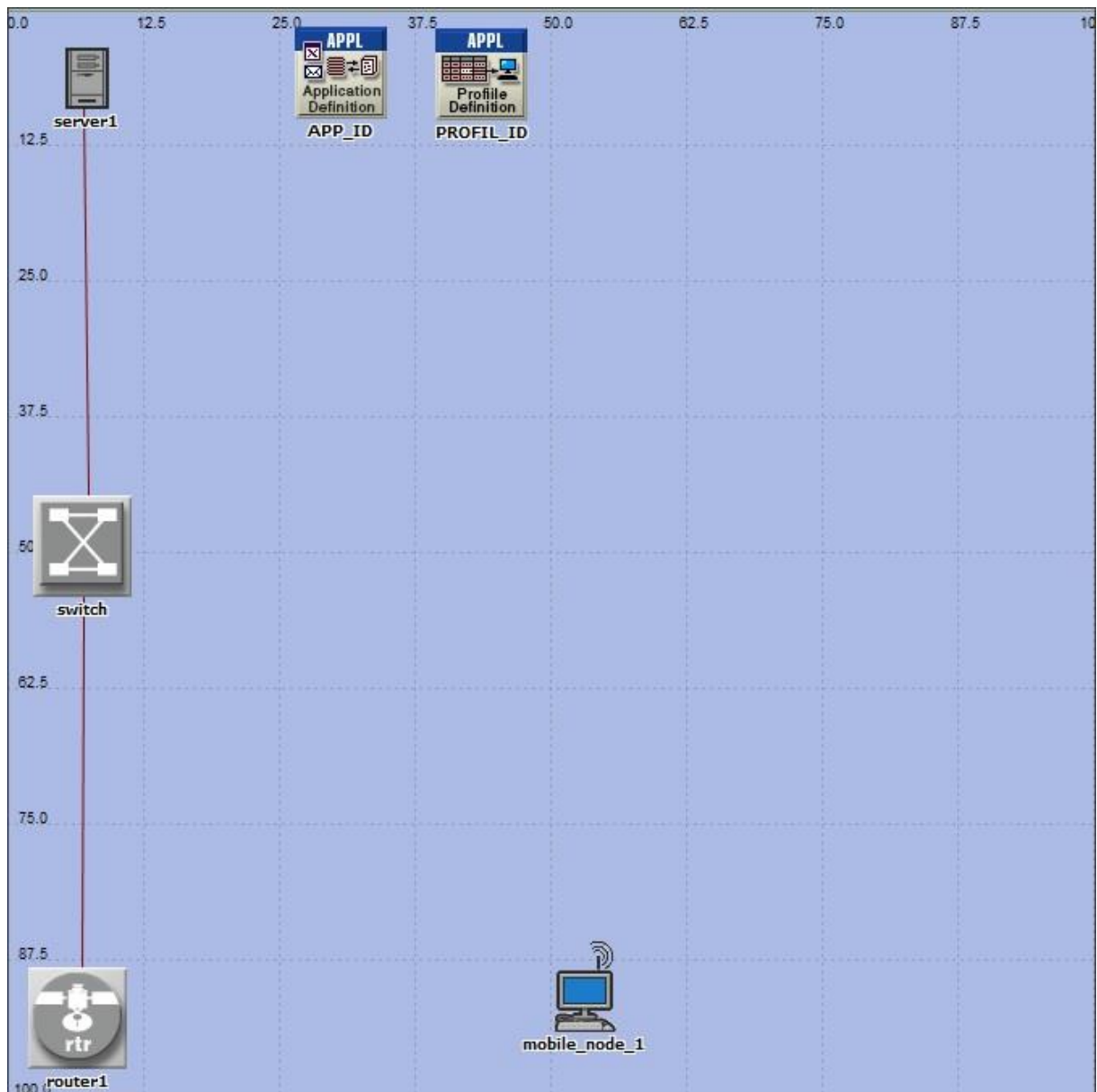
### 5.2 Simulacija

U nastavku su prikazana tri slučaja u kojima se koriste dvije različite vrste prometa, a to su Web browsing promet i VoIP (Voice over Internet Protocol) promet. Za svaki slučaj također je prikazan scenarij kretanja ili mirovanja klijenta (mobile\_node\_1) u odnosu na pristupnu točku, s obzirom na kretanje klijenta snaga prijemnog signala varira ovisno o poziciji terminalnog uređaja u odnosu na bežičnu pristupnu točku kao i maksimalna

propusna moć.

### 5.2.1 Primjer s jednim nepomičnim korisnikom

Ovaj slučaj predstavlja najjednostavniji scenarij s jednim korisnikom koji pristupa bežičnoj mreži u stanju mirovanja putem pristupne točke tvoreći pri tom jednu vrstu prometa web-browsing promet. Prikazana je topologija, prosječno kašnjenje kao i odnos odlaznog i dolaznog prometa. Korisnik je udaljen od pristupne točke približno 40 metara.



Slika 4.: Topologija slučaja broj 1

Izvor: Autor

Atributi simulacije:

Bežična radna stanica miruje

Dimenzije: 100m x 100m

Standard: 802.11g 54 Mbps

server1: ethernet server – WebBrowsing (Heavy)

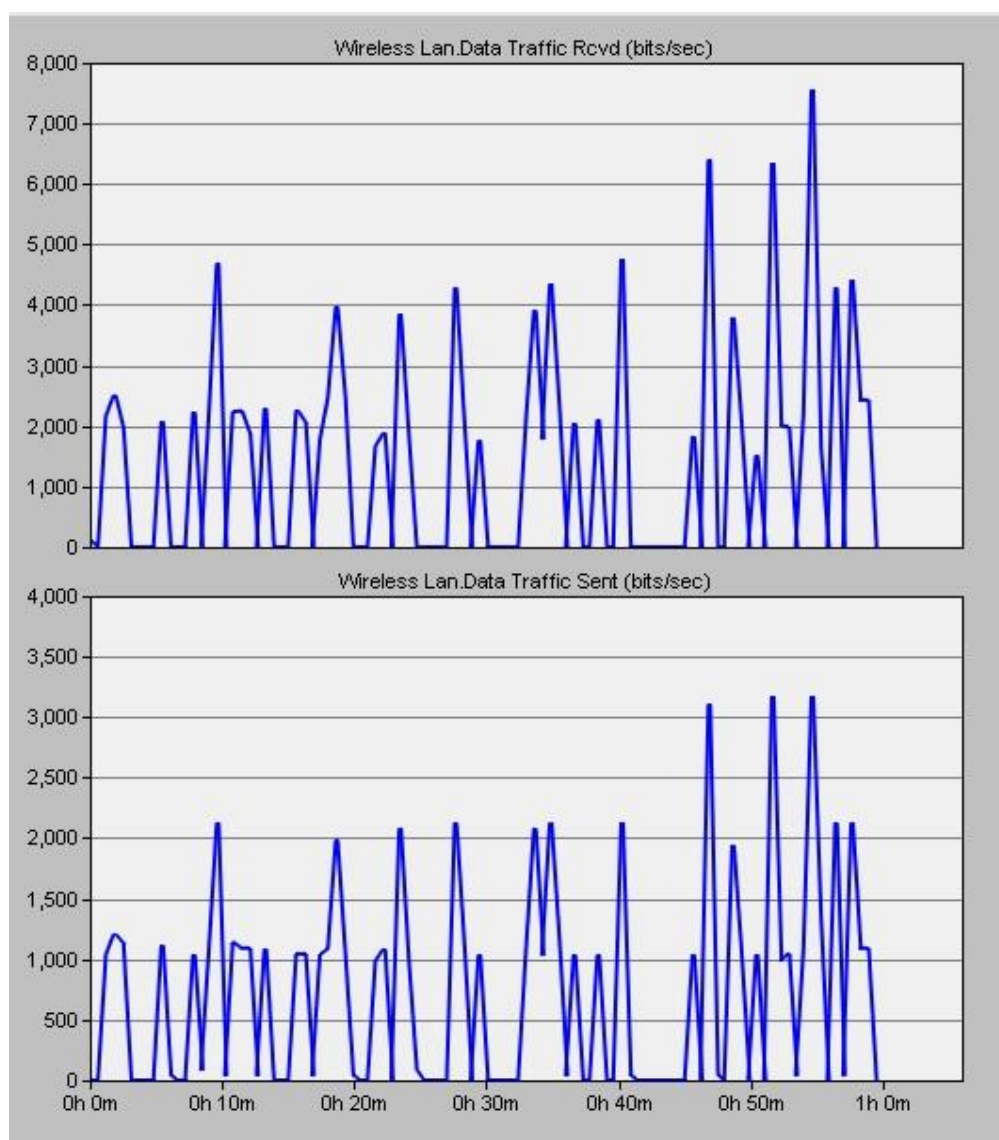
switch: ethernet16\_switch

router1: wlan\_ethernet\_router\_adv (54 Mbps)

Profil korisnika: web browsing aplikacija

Mobile\_node\_1: wlan\_wkstn\_adv (54 Mbps)

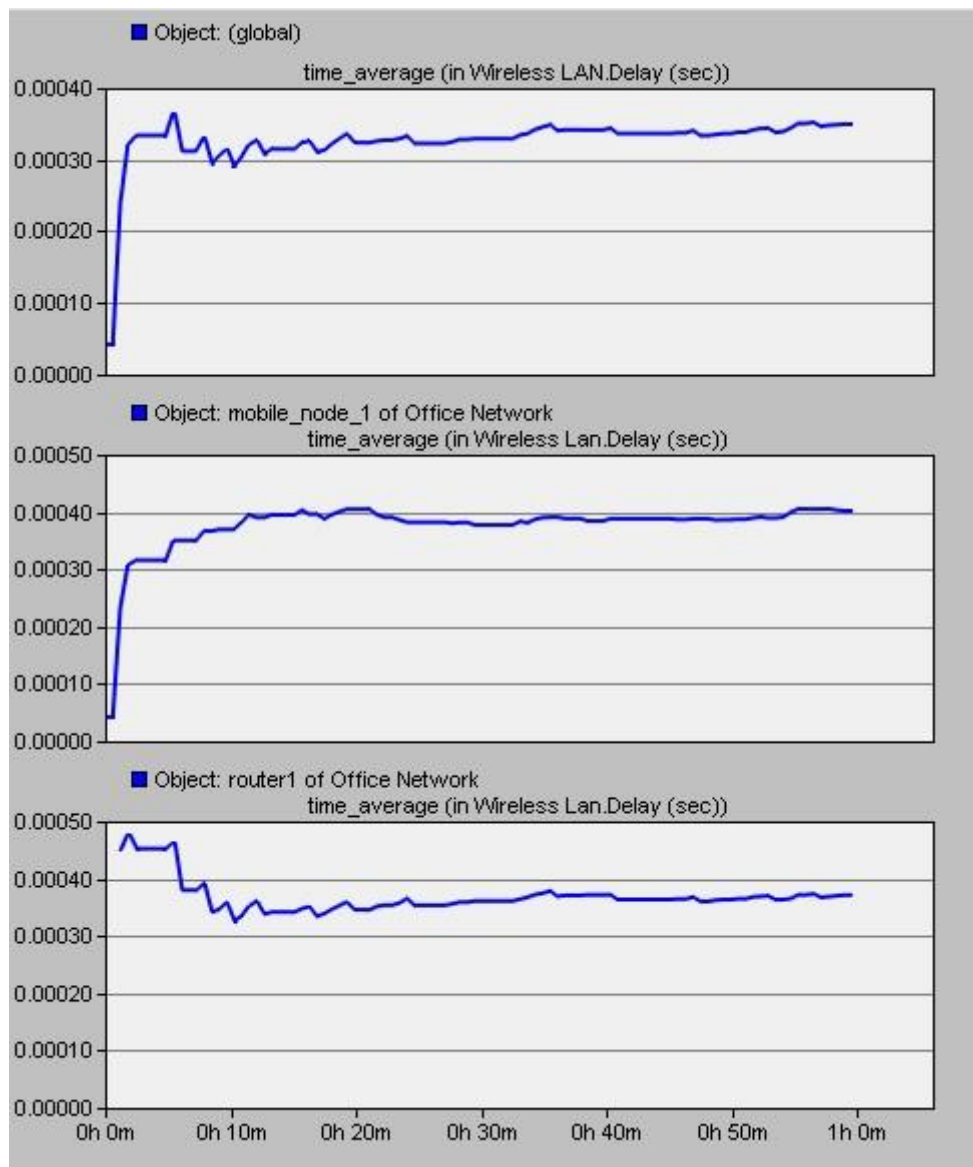
Vrijeme trajanja simulacije: jedan sat



Slika 5.: Korisnički odnos odlaznog i dolaznog prometa

Izvor: Autor

Rezultati upućuju na to da je odlazni podatkovni promet manji od dolaznog podatkovnog prometa što je bilo i za očekivati s obzirom da korisnik koristi Web Browsing.

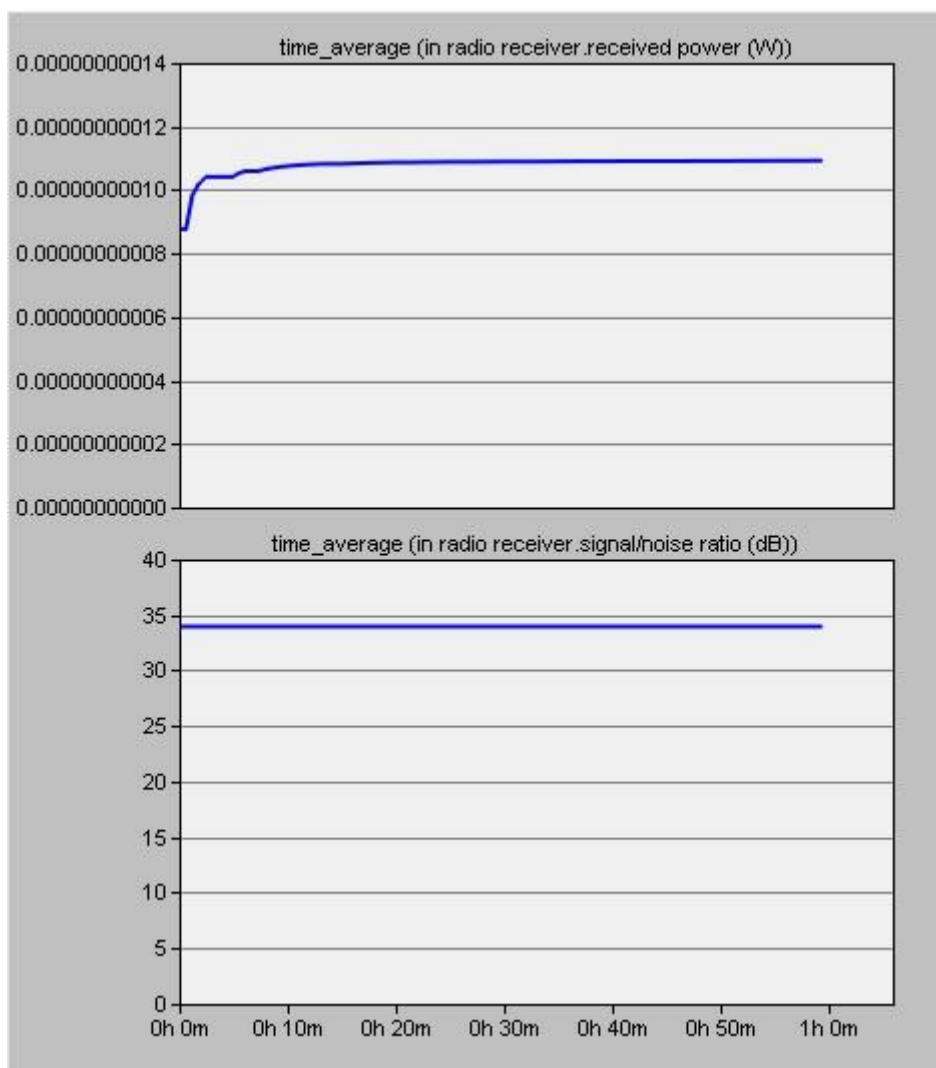


Slika 6.: Prosječno kašnjenje na korisničkoj strani, na usmjerivaču i u cjelokupnom bežičnom sustavu

Izvor:Autor

Kašnjenje (eng latency, delay) označuje vrijeme potrebno da se informacija prenese od izvorišta do odredišta i u ovom slučaju se sastoji od kašnjenja zbog čekanja u redu, kašnjenja zbog čekanje na pristup zajedničkom mediju, kašnjenja zbog prospajanja te kašnjenja zbog prolaska.





Slika 7.: Prosječna snaga prijemnog signala kao i omjera signal-šum

Izvor: Autor

### 5.2.2 Primjer s jednim pomičnim korisnikom

U ovom slučaju predstavljan je scenarij u kojem se korisnik kreće prilikom korištenja mrežnih usluga, pritom tvoreći web browsing (heavy) promet. U nastavku je prikazana topologija i putanja korisnika, odnos odlaznog i dolaznog prometa, prosječno kašnjenje s obzirom na kretanje korisnika, karakteristike snage prijemnog signala kao i odnos signal-šum. Sva navedena statistika prikazana na slikama u ovom slučaju relativna je na kretanje korisnika. Korisnik prevali put približno dug 140 metara prikazan na slici 7. u smjeru bijele strelice. Može se reći da se korisnik približava jednoliko po putanji prema usmjerivaču u periodu od jednog sata.

Atributi simulacije:

Dimenzije: 100m x 100m

Standard: 802.11g 54 Mbps

server1: ethernet server – WebBrowsing (Heavy)

switch: ethernet16\_switch

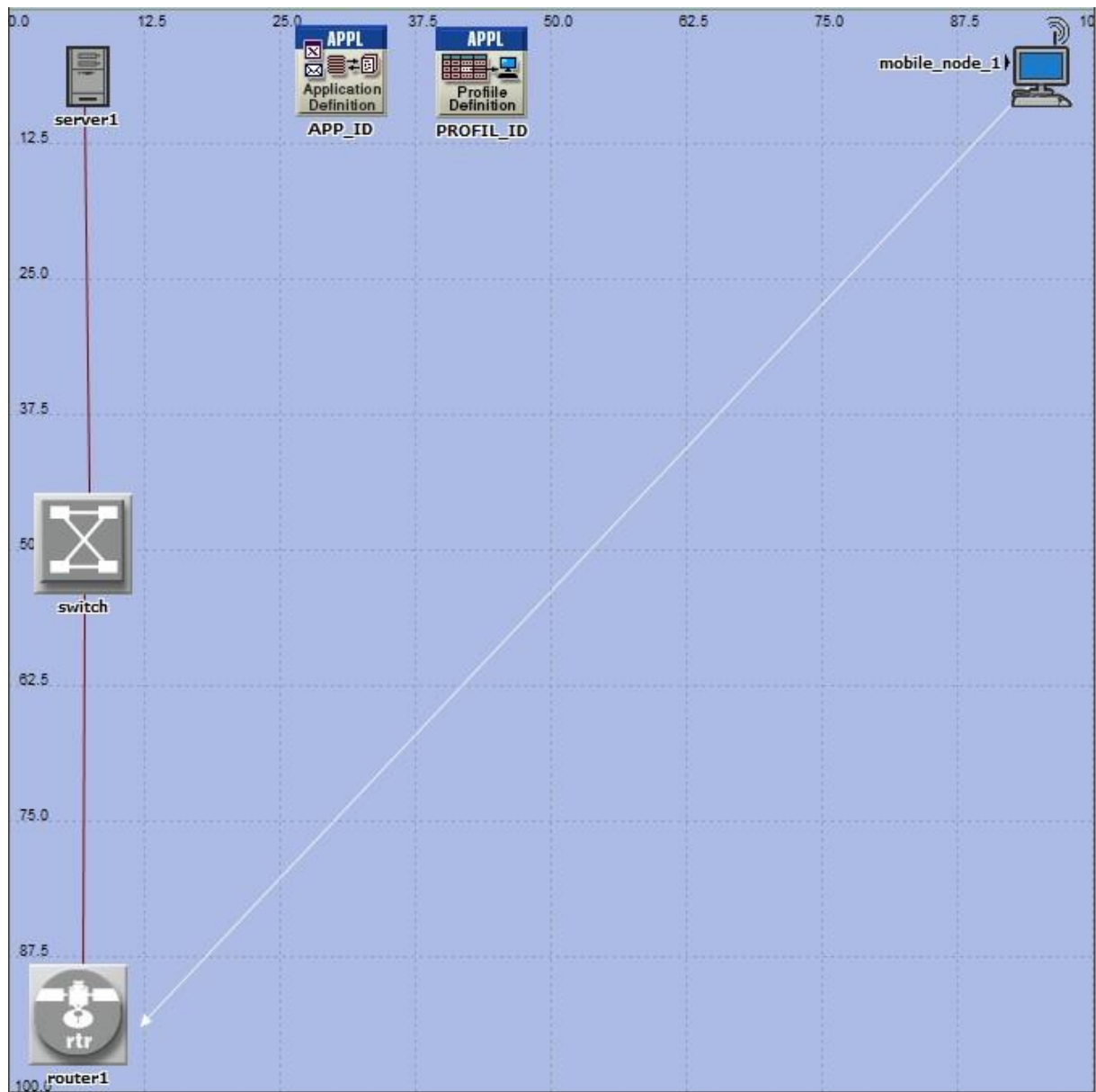
router1: wlan\_ethernet\_router\_adv (54 Mbps)

Profil korisnika: web browsing aplikacija

Mobile\_node\_1: wlan\_wkstn\_adv (54 Mbps)

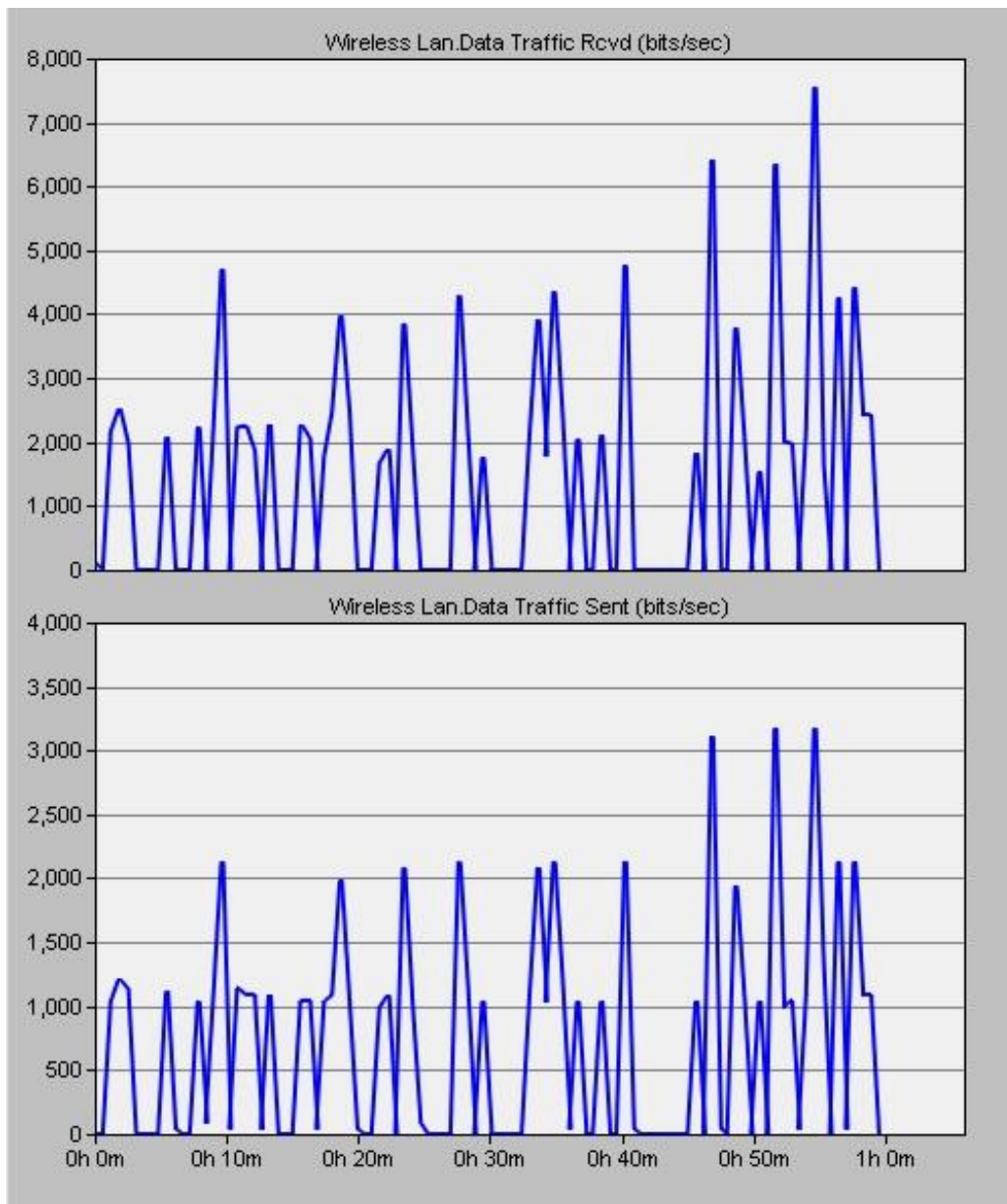
Vrijeme trajanja simulacije: jedan sat

Snaga svih bežičnih odašiljača: 5 mW



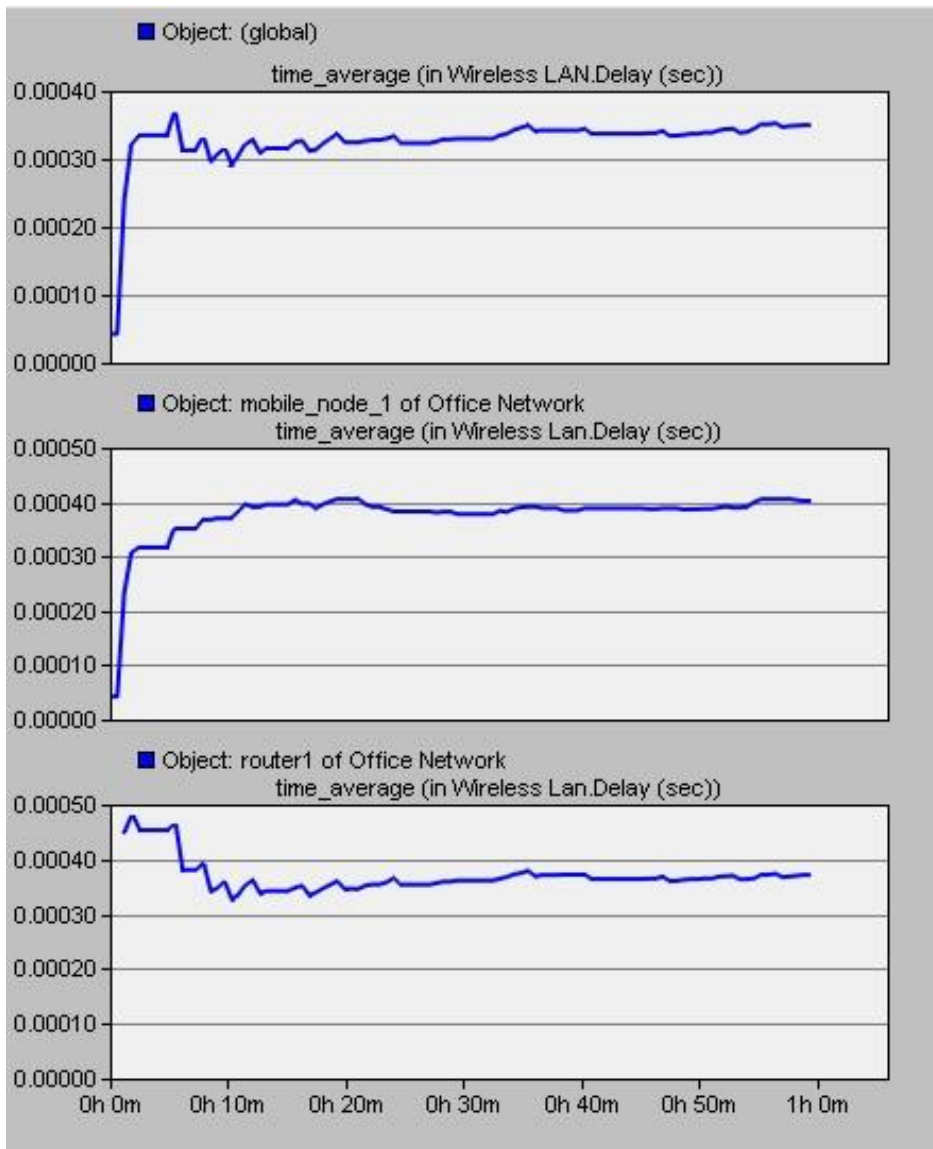
Slika 8.: Topologija slučaja broj 2 uz prikazanu putanju kretanja

Izvor: Autor



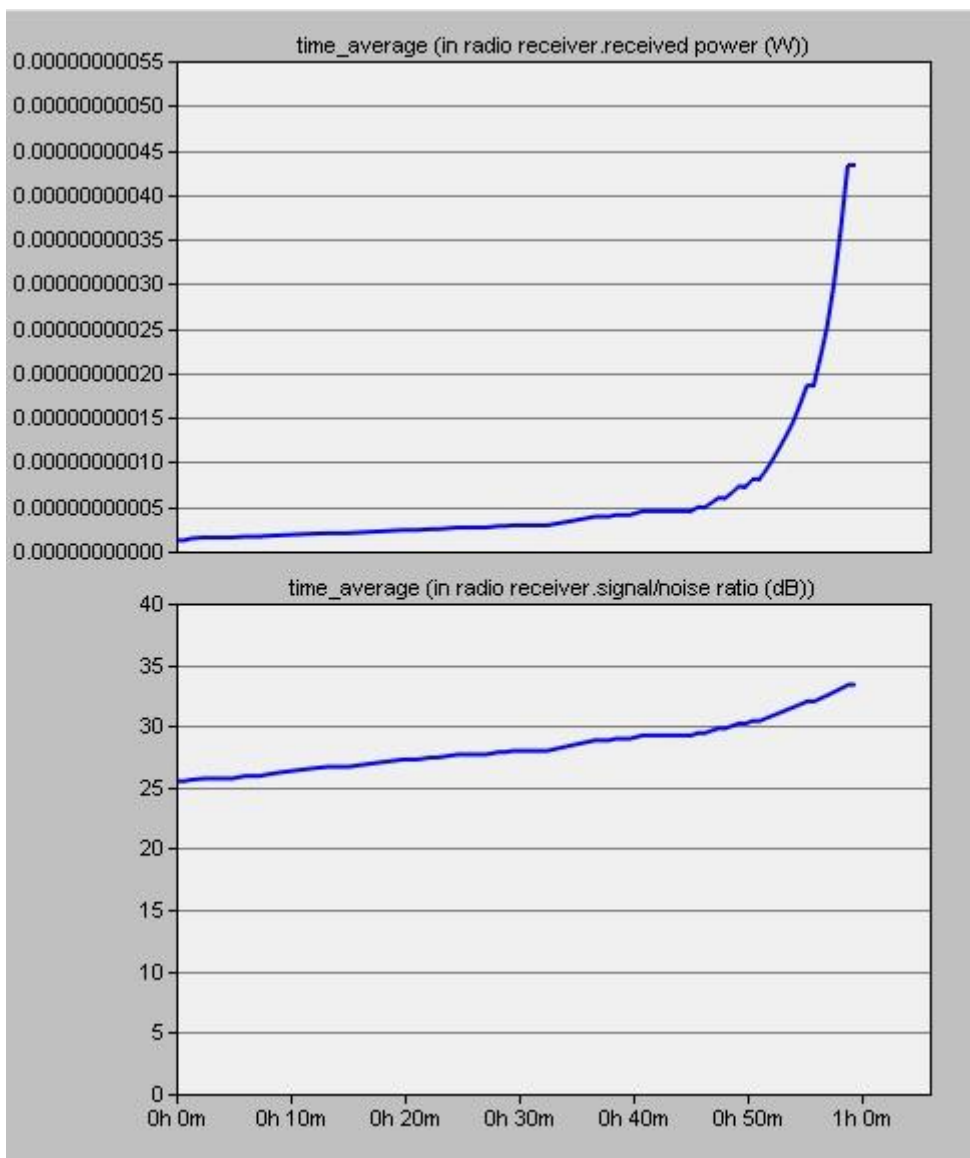
Slika 9.: Karakterističan odnos odlaznog i dolaznog prometa između mobilnog terminalnog uređaja i pristupne točke za WebBrowsing(heavy) promet

Izvor: Autor



Slika 10.: Prosječno kašnjenje u cijelom sustavu, pokretnom terminalnom uređaju i na usmjerivaču

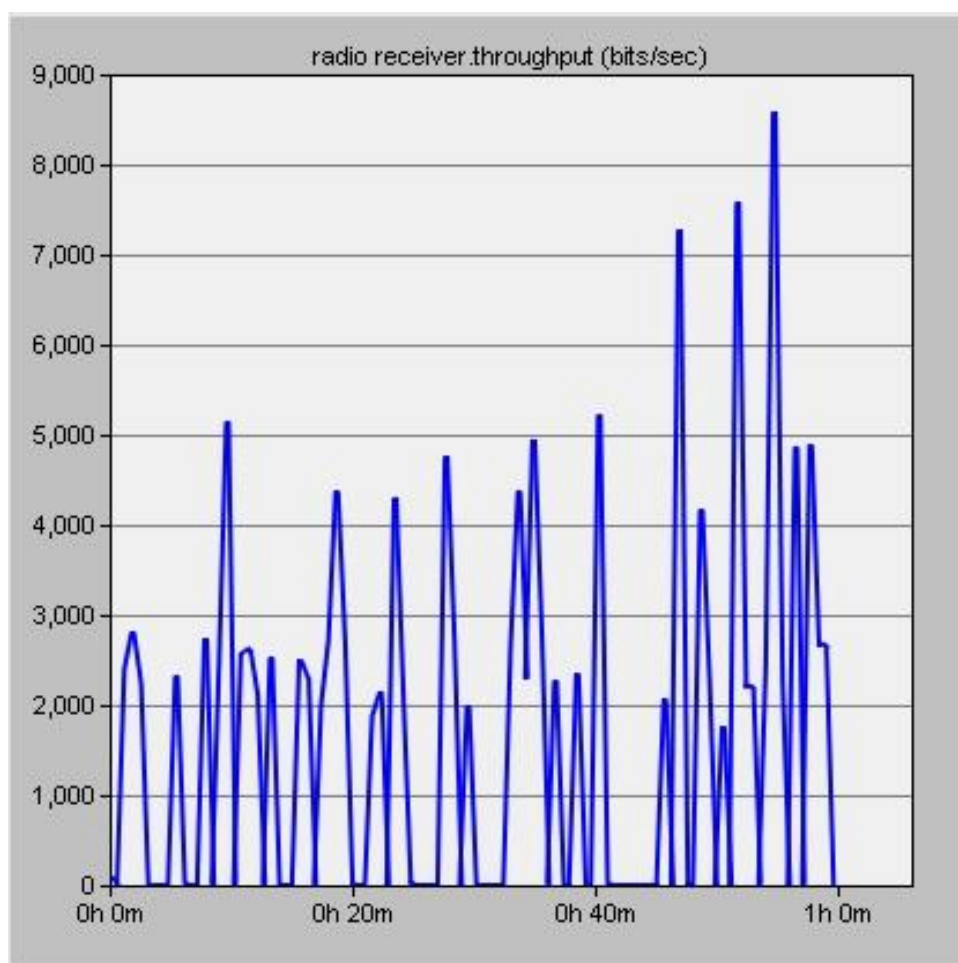
Izvor: Autor



Slika 11.: Na slici su prikazani snaga prijemnog signala i odnos signal-šum na mobilnoj radnoj stanici u pokretu prema pristupnoj točki

Izvor:Autor

Omjer signal-šum u rasponu od 25 dB do 40 dB smatra se kao dobar odnosno prosječni omjer, a omjer od 41 dB ili više smatra se odličnim.



Slika 12.: Propusnost (throughput) koja se mijenja ovisno o odnosu položaja mobilnog terminalnog uređaja i pristupne točke

Izvor:Autor

Uz pomoć ovog slučaja može se zaključiti kako se snaga prijemnog signala koja je povezana za prikazanom propusnošću (throughput) pristupne točke (router1) i mobilnog terminalnog uređaja (mobile\_node\_1) mijenja u ovisnosti o položaju mobilne radne stanice. Na većoj udaljenosti snaga signala je mala, a kako se udaljenost smanjuje približavanjem mobilnog terminalnog uređaja snaga prijemnog signala raste kao i odnos signal-šum i throughput.

### 5.2.3 Složeni primjer s dva pomična korisnika

Ovaj slučaj predstavlja scenarij s dva korisnika koji pristupaju bežičnoj mreži putem pristupne točke uz kretanje po definiranim putanjama tvoreći pri tom dvije vrste prometa (svaki po jednu vrstu) Web browsing i VoIP promet. Uređaj mobile\_node\_1 koristi Web-Browsing(Heavy) vrstu prometa približavajući se pristupnoj točki, dok terminalni uređaj mobile\_node\_2 koristi VoIP udaljavajući se. Oba uređaja putuju jednakom brzinom u razdoblju od jednog sata. Prikazan je odnos odlaznog i dolaznog prometa, kao i različite vrste prometa za svakog korisnika, prosječno kašnjenje s obzirom na kretanje, snaga prijemnog signala za svakog korisnika kao i odnos signal-šum.

Atributi simulacije:

Dimenzije: 100m x 100m

Standard: 802.11g 54 Mbps

server1: ethernet server – WebBrowsing (Heavy)

switch: ethernet16\_switch

router1: wlan\_ethernet\_router\_adv (54 Mbps)

Profil korisnika 1: web browsing aplikacija

Profil korisnika 2: VoIP aplikacija

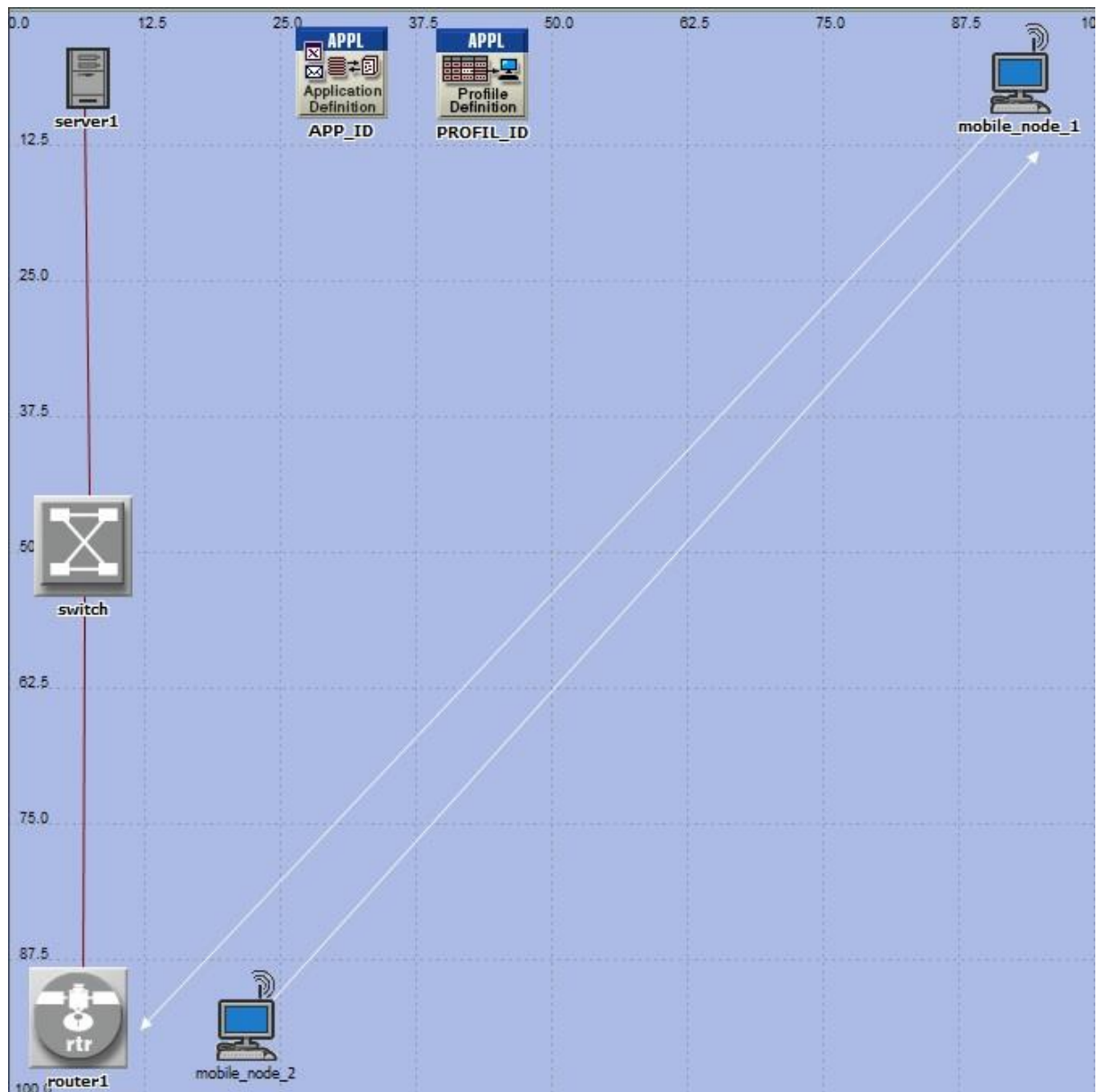
Mobile\_node\_1: wlan\_wkstn\_adv (54 Mbps)

Mobile\_node\_2: wlan\_wkstn\_adv (54 Mbps)

Vrijeme trajanja simulacije: jedan sat

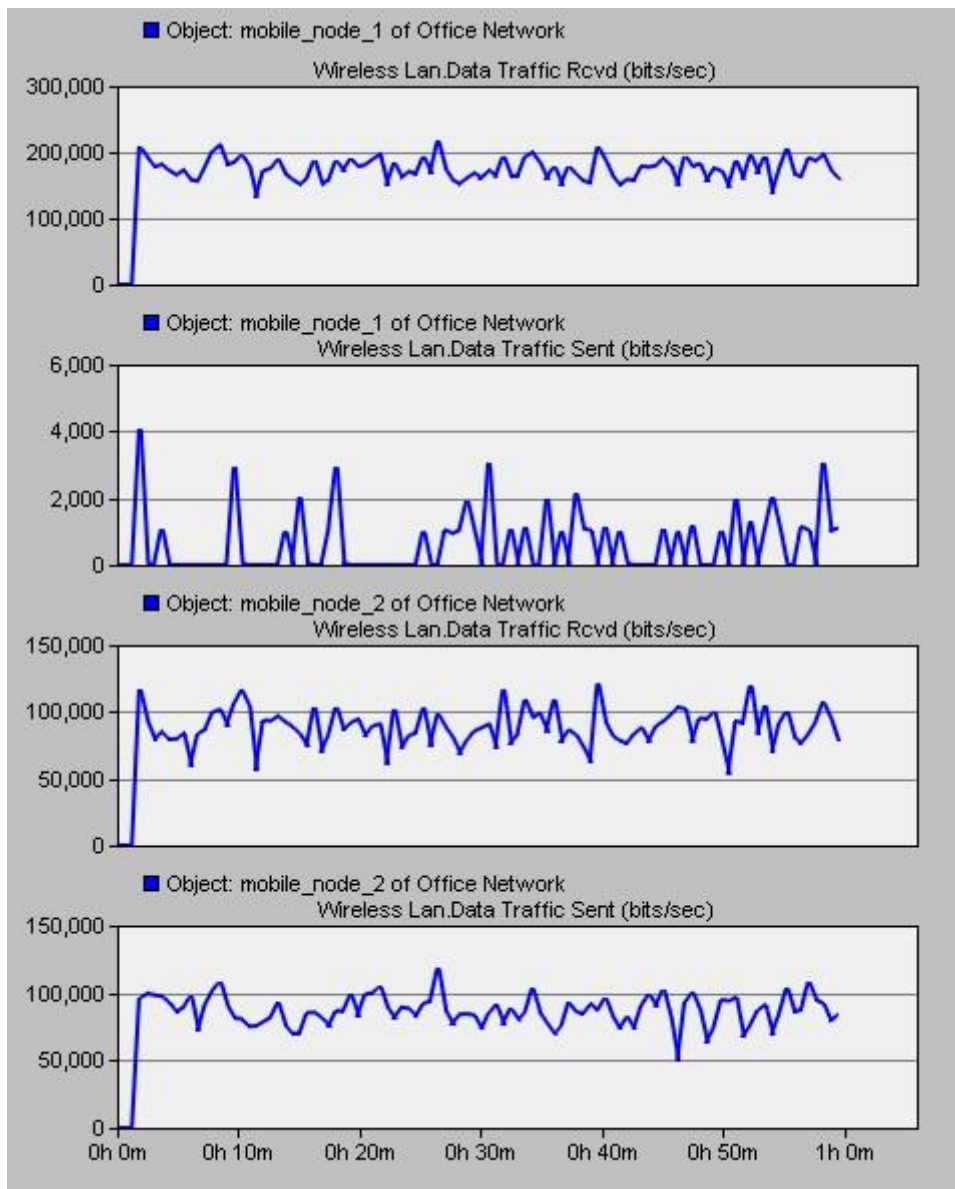
Snaga svih bežičnih odašiljača: 5 mW





Slika 13.: Topologija slučaja broj 3 uz prikazane putanje kretanja

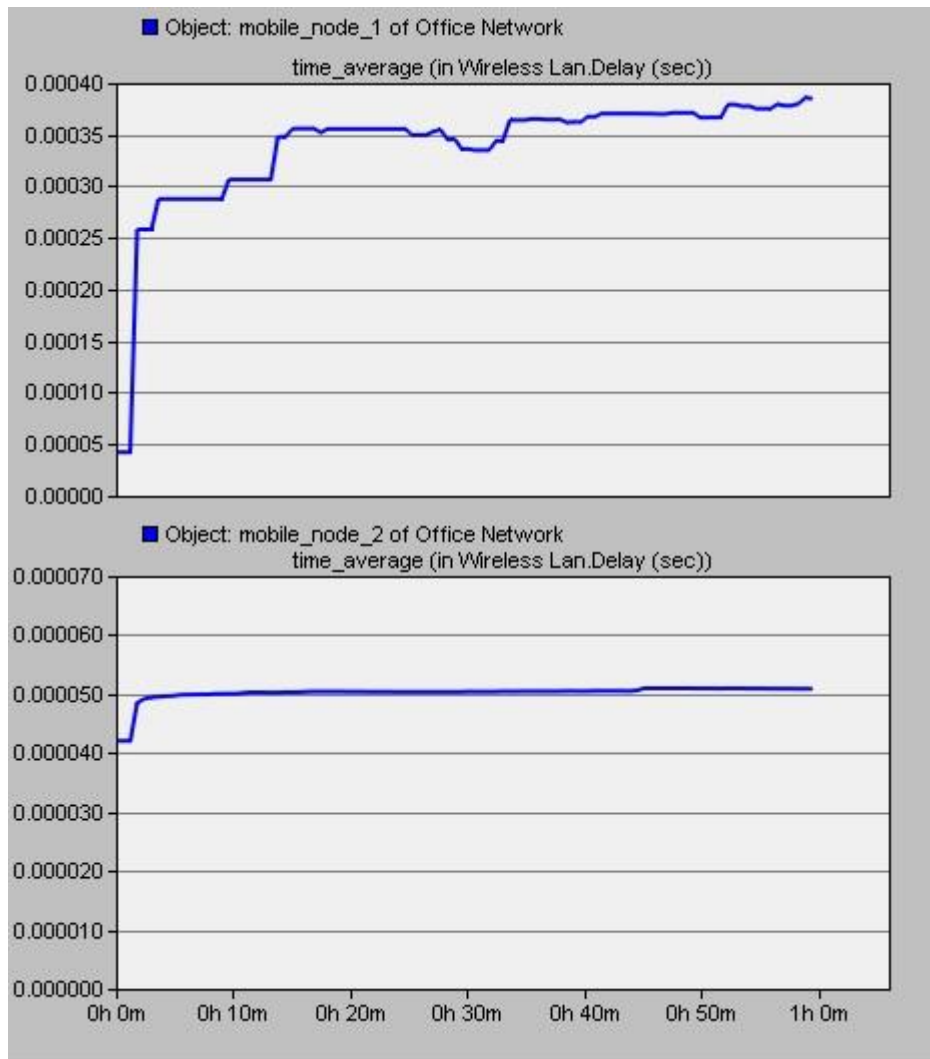
Izvor: Autor



Slika 14.: Odnos odlaznog i dolaznog prometa između mobilnih terminalnih uređaja i pristupne točke za WebBrowsing(Heavy) promet(Korisnik 1) i VoIP promet(Korisnik 2)

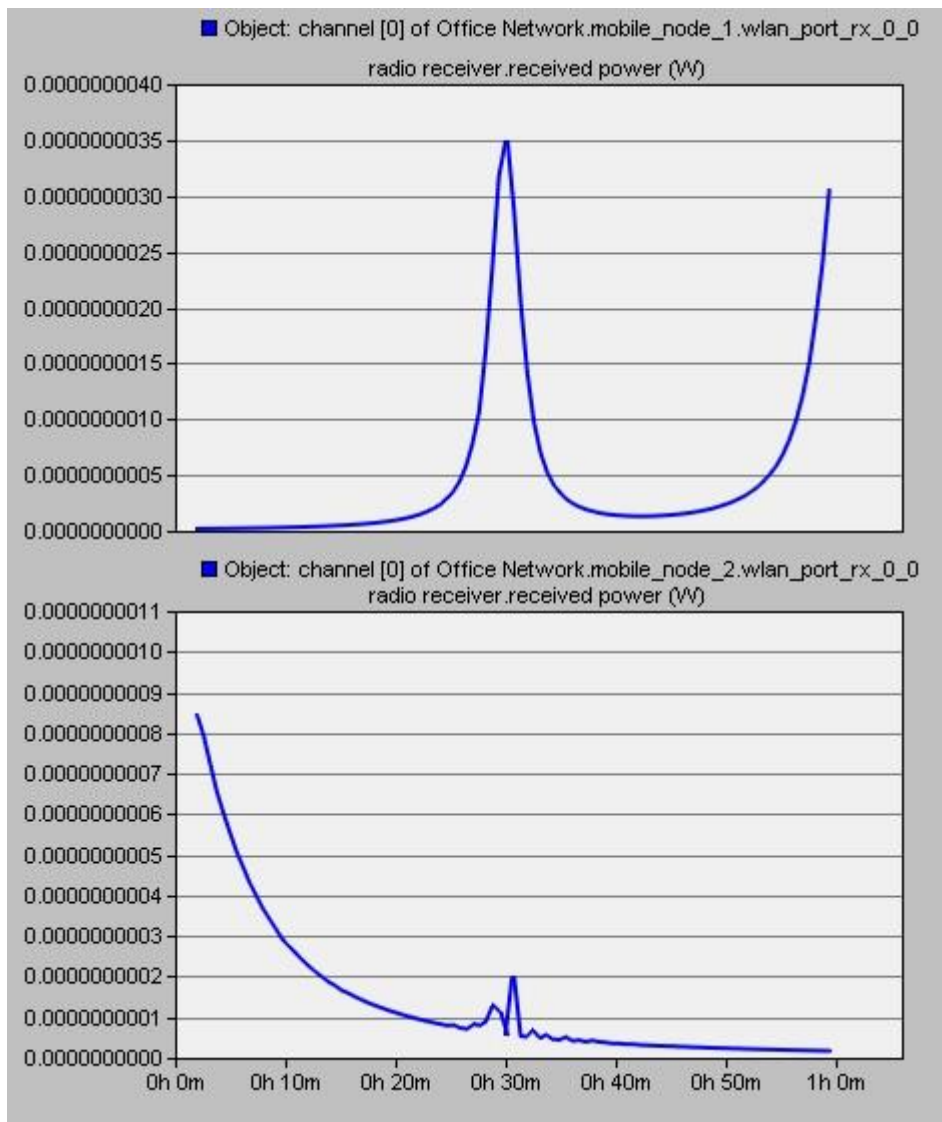
Izvor:Autor

Korisnik 1 (mobile\_node\_1) se koristi Web-Browsing(Heavy) aplikacijama koje su karakteristične za visok dolazni promet i nizak dolazni, dok Korisnik 2 (mobile\_node\_2) koristi isključivo VoIP aplikacije koje u ovom slučaju pokazuju simetričnost.



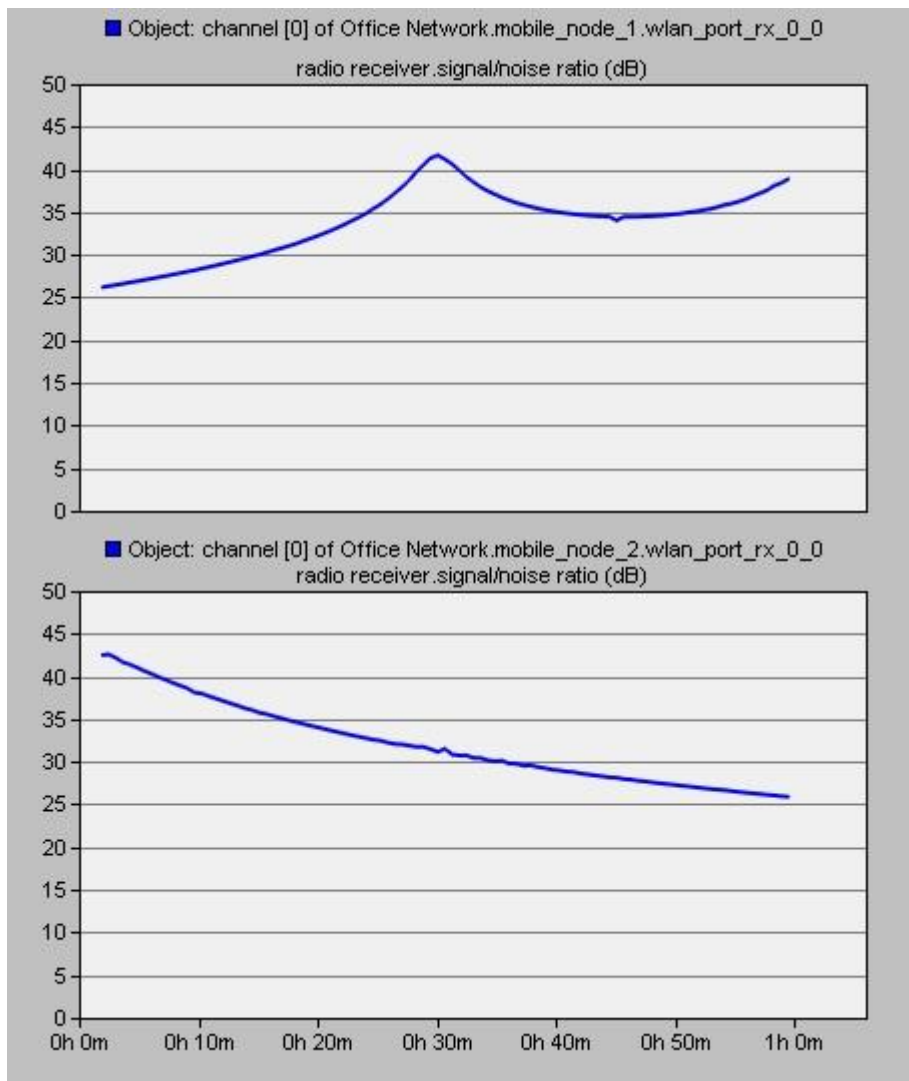
Slika 15.: Kašnjenje pri korištenju Web-Browsing(Heavy) i VoIP-a  
Izvor: Autor

Korisnik 2 (mobile\_node\_2) ima konstantnu krivulju kašnjenja s obzirom da proizvodi isključivo VoIP promet, što znači da je varijacija kašnjenja (jitter) malena u odnosu prema Korisniku 1 koji proizvodi Web-Browsing(Heavy) i posjeduje primjetnu varijaciju kašnjenja s obzirom da koristi Web-Browsing aplikacije.



Slika 16.: Snaga prijemnog signala za svakog korisnika pojedinačno

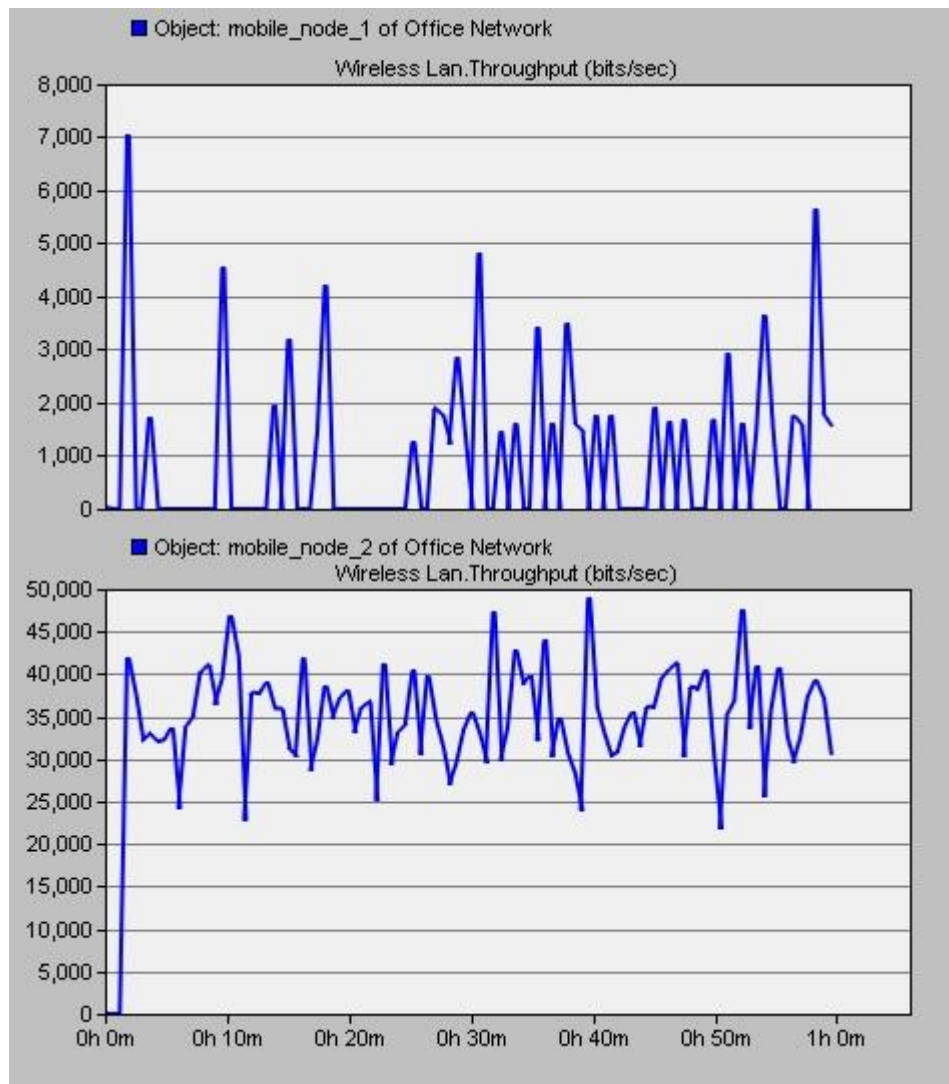
Izvor:Autor



Slika 17.: Omjer signal-šum za svakog korisnika

Izvor:Autor

Treba napomenuti da je omjer signal-šum u ovom slučaju u nekim trenucima dostizao gotovo granice donje vrijednosti dobrog omjera signal-šum koji iznosi oko 25 dB



Slika 18.: Propusnost za svakog korisnika

Izvor: Autor

## 6.Zaključak

Bežične lokalne računalne mreže se mogu prikazati kao proizvod koji kombinira računalnu tehnologiju i tehnologiju radio prijenosa podataka. Ovaj način funkcioniranja mreže pruža mobilnost i praktičnost korisniku s obzirom da korisnik nije ograničen fiksnim spojem na mrežu. Važno je da se pri korištenju bežičnih mreža uspostave odgovarajuće zaštitne mjere s obzirom da signal propagira prostorom koji može biti podložan prisluškivanju. Arhitektura bežičnih lokalnih mreža standardizirana je od strane IEEE 802.11 standardom.

U provedenim simulacijama primjenom OPNET programske podrške na različitim primjerima, iz rezultata se može vidjeti kako je razina prijemnog signala bežične radne stanice najniža kada je radna stanica na najudaljenijem mjestu od usmjerivača. Kako se radna stanica približava pristupnoj točki raste joj i snaga prijemnog signala te kako se to odnosi na korisničku percepciju propusnosti. U simulacijama su također prikazane očekivane karakteristične veličine odaslanog i primljenog prometa za Web-Browsing tip aplikacija kao i za VoIP aplikacije uz očekivane veličine vremena prosječnog kašnjenja kao i odnosa omjera signal-šum za svaki slučaj pojedinačno. Također je prikazano kako korištenjem VoIP aplikacija mreža zadržava varijaciju kašnjenja na minimalnoj razini kako bi bila omogućena multimedijaska komunikacija.

Uz korištenje OPNET programske podrške prikazane u ovom radu za simulaciju bežičnih lokalnih mreža u različitim okruženjima moguće je predvidjeti važne čimbenike pri projektiranju kao i analizirati mrežne performanse modela.

## 7.Literatura

- [1] Matthew Gast 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide.O'Reilly, 2002
- [2] Izvor s interneta: <https://study.com/academy/lesson/types-of-networks-lan-wan-wlan-man-san-pan-eqn-vpn.html> 15.5.2019.
- [3] Izvor s interneta: <https://systemzone.net/computer-network-topology-outline/>
- [4] Izvor s interneta:  
<http://bib.itc.edu.kh//ebook/storage/802.11%20Wireless%20Networks%20The%20Definitive%20Guide.pdf> 15.5.2019.
- [4]Knjiga: Jim Geier Wireless LANs, 2nd Edition. Sams White Book,July 2001°
- [5] Izvor s interneta: <http://www.tutorial-reports.com/sites/default/files/wifiadhocmode.gif>
- [6] Izvor s interneta: <http://www.tutorial-reports.com/sites/default/files/wifiinfrastructure.gif>
- [7] Izvor s interneta: [https://www.webopedia.com/TERM/8/802\\_11.html](https://www.webopedia.com/TERM/8/802_11.html) 15.5.2019 .
- [8] Izvor s interneta: <https://mrnciew.com/2012/11/28/understanding-wireless-qos-part-1/> 15.5.2019.
- [9]Izvor s interneta:  
<http://www.pearsonitcertification.com/articles/article.aspx?p=1329709&seqNum=3> 15.5.2019.
- [10] William A. Arbaugh, Jon Edney Real 802.11 Security: Wi-Fi Protected Access and 802.11i.2004
- [11] Izvor s interneta: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/opnet.html> 15.5.2019.
- [12] Izvor s interneta: <https://wificoops.com/2018/08/06/the-importance-of-signal-to-noise-ratio/> 17.7.2019.
- [13] Izvor s interneta: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/bit-error-rate> 18.7.2019.
- [14] Izvor s interneta: <http://www.plugthingsin.com/internet/speed/latency/> 18.7.2019.



## Popis slika

Slika 1: Različite mrežne topologije

Slika 2: Nezavisni osnovni skup usluga – Ad-hoc

Slika 3: Infrastrukturni način rada

Slika 4: Topologija mreže za prvi slučaj

Slika 5: Odnos odlaznog i dolaznog prometa za prvi slučaj

Slika 6: Prosječno kašnjenje na korisničkoj strani, usmjerivaču i sustavu za prvi slučaj

Slika 7: Prosječna snaga prijemnog signala i omjer signal-šum za prvi slučaj

Slika 8: Topologija mreže za drugi slučaj

Slika 9: Odnos odlaznog i dolaznog prometa za drugi slučaj

Slika 10: Prosječno kašnjenje komponenti za drugi slučaj

Slika 11: Snaga prijemnog signala i odnos-signal šum na uređaju u pokretu za drugi slučaj

Slika 12: Propusnost za drugi slučaj

Slika 13: Topologija mreže za treći slučaj

Slika 14: Odlazni i dolazni promet za pojedinog korisnika u trećem slučaju

Slika 15: Usporedba prosječnog kašnjenja za VoIP i Web-Browsing(heavy) aplikacije

Slika 16: Usporedba snage prijemnog signala za svakog korisnika u trećem slučaju

Slika 17: Omjer signal-šum za svakog korisnika u trećem slučaju

Slika 18: Usporedba propusnosti za svakog korisnika u trećem slučaju

## **Popis tablica**

Tablica 1.:Prikaz najčešćih interferencija na bežične signale u zatvorenim prostorima

## 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 **SIMULACIJA WLAN MREŽE PRIMJENOM OPNET PROGRAMSKE**

### **PODRŠKE**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom

repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 29.8.2019 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Luka Celić  
(potpis)