

## UTJECAJ ČIMBENIKA ATENUACIJE I LATENCIJE NA FUNKCIONALNOST I EFIKASNOST WIFI MREŽE

### *THE INFLUENCE OF ATTENUATION AND LATENCY FACTORS ON THE FUNCTIONALITY AND EFFICIENCY OF THE WIFI NETWORK*

Kruno Đeleković, Željko Širanović

*Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska*

#### SAŽETAK

Najvažniji čimbenici koji utječu na gubitak informacije ili gubitak kvalitete signala u bežičnoj mreži su: atenuacija povezanosti, latencija, hardverski uređaji na mreži, te topologija i dizajn mreže. Ovaj rad je razvijen s temeljnom svrhom predočiti čimbenike latencije i atenuacije koji utječu na rad bežične računalne mreže i mrežnog prometa. Kada se razmotre njihove potencijalne slabosti i snage, bolje se može optimizirati, otkloniti pogreške, te projektirati efikasna i ekonomična WiFi mreža.

**Ključne riječi:** *Atenuacija, Latencija, WiFi mreža*

#### ABSTRACT

The most important factors affecting information loss or signal quality loss in a wireless network are: connection attenuation, latency, hardware devices on the network, and network topology and design. This paper was developed with the basic purpose of presenting the latency and attenuation factors that affect the operation of wireless computer networks and network traffic. When their potential weaknesses and strengths are considered, one can better optimize, debug, and design an efficient and cost-effective WiFi network.

**Keywords:** *Attenuation, Latency, WiFi network*

#### 1. UVOD

##### *1. INTRODUCTION*

Svaka industrija zahtjeva brzi pristup informacijama i mogućnost brze komunikacije, tako bežične računalne mreže kroz intranet i Internet danas povezuju jako veliki broj strojeva i uređaja. Uloga mrežnih stručnjaka je dostaviti mrežna rješenja prilagođena za specifična okruženja i potrebe, te da ta rješenja budu brza i ekonomična. Također je potrebno usavršiti planiranje manjih WiFi mreža, posebice zbog dolaska IoT. Mreže s malom propusnosti, slabom povezanosti, nesigurne, nepouzdana, one bez skalabilnosti, bez mogućnosti prilagodbe i slične, jednostavno nisu više prihvatljive. Cilj je smanjiti latenciju, povećati mrežnu propusnost, omogućiti skalabilnost, osigurati mrežu, učiniti ju prilagodljivom i stabilnom, te otkloniti moguće buduće probleme samim dizajnom mreže. Na stručnjacima da optimiziraju svaku mrežu sa dostupnom mrežnom opremom i iskoriste ju do punog potencijala.

U ovom radu u fokusu je konfiguracija i dizajn mreže, Wi-Fi konekcija, prijenosni mediji, fizičke pojave koje se javljaju pri bežičnim mrežama, načini ubrzanja rada mreže, rješavanje problema mrežnog zastoja i razumijevanja problematike vezane za atenuaciju i latenciju. Rezultati ovog rada mogu biti preporuke pri izradi i projektiranju efikasne WiFi mreže kao i bolje razumijevanje mrežnog prometa kao i rada mreže.

## 2. OSNOVNE FUNKCIONALNOSTI I PROBLEMATIKA NEOPTIMIZIRANE MREŽE

### 2. THE BASIC FUNCTIONALITIES AND PROBLEMS OF AN UNOPTIMIZED NETWORK

Da bi se razumjelo kako optimizirati i dizajnirati efikasnu računalnu mrežu, te učinkovito otklanjati i spriječiti pogreške u radu mreže, potrebno je razumjeti osnovne funkcionalnosti i načine komunikacije umreženih računala i osnovne funkcionalnosti mreže. Shvaćanje osnova umreženosti uređaja u mrežu je potrebno za shvaćanje pojave kašnjenja u mreži, mrežne propusnosti, putovanje signala između umreženih uređaja i razvijanje mrežne topologije. Prvi uvjet za spajanje na mrežu je da uređaj ima mrežno sučelje ili mrežnu kraticu koja ima unikatnu MAC adresu kao mrežni identifikator. Računalo može imati više mrežnih sučelja a time i više MAC adresa, gdje se istovremeno može koristiti samo jedno sučelje. Ukoliko se spaja na mrežu preko bežičnog mrežnog adaptera, onda se MAC adresa mrežnog adaptera računala spaja na mrežni adapter WiFi usmjernika koristeći SSID, isto tako WiFi usmjernik može imati više mreža ili više SSID-a. [1]

Lokalna mreža (LAN) je skupina umreženih uređaja povezanih na jedan glavni usmjernik. Usmjernik je spojen na modem koji daje pristup internetu preko mrežnog operatera (ISP). Umrežena računala komuniciraju unutar lokalne mreže i prema internetu. Kada informacije izlaze prema ili dolaze izvana, to se vrši preko telekomunikacijske infrastrukture koja tvori globalnu mrežu koja se naziva internet. Telekomunikacijska infrastruktura je fizički medij kroz koji cijeli promet interneta putuje. Taj medij mogu biti telefonske žice, bakreni i optički kablovi u zemlji, u zraku i pod vodom, sateliti, mikrovalovi i pet generacija mobilne tehnologije radio valova. Postoje razni načini kako proslijediti tu informaciju koja putuje, ali kombinacija ovih je najčešća. [2]

Mreža koja ne radi do svojeg punog kapaciteta s minimalnim ulaganjima, nije ekonomična. Svaki klijent brine oko toga da mu troškovi budu sve manji, a povezanost najbolja moguća, čak i ako

se radi o kućnoj LAN mreži. Ne optimizirane mreže predstavljaju veći trošak i probleme nestabilne mreže s kojom klijent nikako ne može biti zadovoljan. Stabilna mreža je posebice bitna kada podupire neki posao ili uslugu visokog prioriteta. Na primjer kašnjenje ovisi i o mrežnom protokolu, tako će TCP protokol imati veće kašnjenje u odnosu na UDP protokol zbog tromjernog rukovanja, dok će UDP slati pakete bez provjere uz rizik gubitka informacije. [3]

Za cilj unaprjeđivanje rada mreže i optimizacije se mogu koristiti razne tehnike kojima se nadgleda mreža i poboljšava njen rad, a one su: globalno izjednačavanje tereta (engl. *global load balancer*), minimiziranje latencije ili kašnjenja (engl. *minimize latency*), nadgledanje gubitka paketa (engl. *packet loss monitoring*) i upravljanje propusnosti (engl. *bandwidth management*). [4]

## 3. ČIMBENICI EFIKASNOSTI RAČUNALNE MREŽE

### 3. THE EFFICIENCY FACTORS OF COMPUTER NETWORK

Efikasnost mreže je mjera efikasnosti razmjene informacija, gdje se očekuje da će s manjim brojem mrežnih čvorova i manjom udaljenosti između njih, informacija brže putovati kroz mrežu. Efikasnost lokalne mreže utječe na efikasnost mreže na globalnoj razini. U primjeru računalnih mreža, razmotrit će se čimbenici koji utječu na gubitak informacije i kašnjenje informacije. Važno je razlikovati vremensko kašnjenje ili ono što utječe na vrijeme potrebno da informacija dostigne odredište, i gubitak signala, tj. ono što utječe na pouzdanost mreže i gubitak energije prijenosa putem medija. [4]

### 3.1. ČIMBENICI ATENUACIJE WIFI MREŽA

#### 3.1. THE ATTENUATION FACTORS OF WIFI NETWORKS

Da bi WiFi signal putovao, treba imati odašiljačku i prijemnu antenu. U telekomunikacijskoj infrastrukturi, wireless signal postaje glavni medij prijenosa podataka, njime putuje većina informacija zbog povećanja

broja mobilnih uređaja i novih potreba 5G mreža. Informacija putuje brzinom frekvencije vala, tj. svaki val putuje istom brzinom, ali veća frekvencija omogućuje nošenje veće količine podataka. [5]

Bežična pristupna točka (WAP ili AP) je uređaj koji stvara ili produljuje opseg WiFi LAN mreže. Da bi ostali uređaji mogli komunicirati sa pristupnom točkom, potreban im je bežični adapter ili kontroler bežičnog mrežnog sučelja. To je periferni ili integrirani hardver uređaj s antenom koji omogućava pristup mreži računala na koje je spojen. Najvažnija pristupna točka u LAN mreži je usmjernik, kao točka prijenosa informacije s frekvencijama 2.4 GHz ili 5 GHz. Većina pristupnih točaka koriste frekvenciju 2.4 GHz koja je sporija u prijenosu informacija, ali ima veći domet i manju atenuaciju. [1]

Atenuacija elektromagnetskih valova je smanjenje intenziteta elektromagnetske energije zbog fizičkih pojava u valovima poput apsorpcije i širenja. Atenuacija ne uništava informaciju, ali smanjuje amplitudu signala i time udaljenost kojom može putovati, što dovodi do toga da ta informacija ne može doseći određeno mjesto. Atenuacija se mjeri u decibelima (dB). Do atenuacije signala dolazi zbog kondukcijskog gubitka, dielektričnog gubitka i propagacijskog gubitka. Da bi se popravile posljedice atenuacije mogu se koristiti pojačivači signala kako bi njegov intenzitet bio kao prije gubitka. To u bežičnoj mreži može vršiti ponavljač. To je uređaj koji ponovi signal koji je primio i time obnovi njegovu jačinu signala. Puno češće će se u tu svrhu koristiti dodatna pristupna točka koja ima puno veće mogućnosti. [6]

Atenuacija signala stvara probleme i za najveće mreže velikih tvrtki i organizacija, posebice u širim mrežama na većem prostoru, kada je potrebno omogućiti komunikaciju na veće udaljenosti. Što je mreža šira, zahtijevat će bolju infrastrukturu prijenosnog medija, više mrežnih uređaja, duže kablove i više antena i pristupnih točaka, a to će zauzvrat stvoriti veći trošak i zauzeti prostor. Ako se nepromišljeno širi mreža, onda će ona biti loše kvalitete. Smanjenje atenuacije signala može poboljšati cjelokupnu efikasnost mreže. [6]

Najvažniji faktor gubitka signala je gubitak puta (engl. *path loss*). Gubitak puta je atenuacija elektromagnetskih valova koji putuju kroz slobodan prostor (zrak). [7]

Formula za gubitak signala (1) na putu je [7]:

$$L_{FS}(dB) = 20 \log_{10}(d_m) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) - 27.55 \quad (1)$$

Gdje je:

$L_{fs}$  – gubitak puta

$d$  – udaljenost (m)

$f$  – frekvencija (MHz)

27.55 – konstanta dobivena izračunom valne duljine, brzine svjetlosti i aparature antene.

Rezultat formule je gubitak signala pri putovanjem zrakom. Što je rezultat veći, to je veći gubitak signala i lošija povezanost uređaja. Iz ove formule vidimo odnose pojedinih fizičkih veličina. Veličine u formuli, frekvencija i veličina, trebaju biti manje da bi gubitak bio manji. Ova formula se odnosi na signal koji putuje zrakom.

Snaga WiFi signala mjeri se u decibelu relativnom na 1 milivat (dBm). Formula kojom se računaju decibeli iz milivata je  $dB = \left(\frac{A}{B}\right)$ , gdje je dB vrijednost u decibelima, a A i B predstavlja omjer između dviju vrijednosti iste mjerne jedinice. Da bi se dobili dBm, koristi se formula  $dBm = 10 \lg\left(\frac{P}{1mW}\right)$ , gdje je dBm izraženje decibela koji je relativan prema jednom milivatu, a P je snaga. [26]

Gubitak puta u slobodnom prostoru može se računati prema formuli ili preko web aplikacija kalkulatora za gubitak puta u slobodnom prostoru.

Ovaj rad koristi Link Budget formulu (2) koja se koristi u telekomunikacijama. Link Budget je uračunavanje svih gubitaka da bi se dobio konačni gubitak signala koji putuje. Konačna formula će glasiti [8]:

$$Prx = Ptx - L_{FS} - L + G_{RX} + G_{TX} \quad (1)$$

$Prx$  – Primljena snaga (dBm)

$Ptx$  - Snaga odašiljača (dBm)

$L_{FS}$  – Izračun gubitka puta u slobodnom prostoru (zraku) (dB)

L – Ostali gubitci koje smo izmjerili uključujući gubitak prepreke, gubitak na odašiljaču, gubitak na prijemniku i sporedni gubitci (dB)

$G_{RX}$  – Dobitak prijemne antene (dBi)

$G_{TX}$  – Dobitak odašiljačke antene (dBi).

Pristupne točke u LAN mrežama koriste 2.4GHz ili 5 GHz, stoga su veličine na koje se može imati utjecaj udaljenost između dviju antena i dobitak prijemne i odašiljačke antene. Ako se uzme u obzir da je dobitak tih dviju antena u prosjeku oko desetak dB, može se shvatiti koliko puno udaljenost utječe na krajnji rezultat. [1]

Pri 5 GHz frekvenciji, bežična pristupna točka ima prijenosnu moć oko 18 dBm, dok pri 2.4 GHz ima oko 13 dBm. Uzima se u obzir da jačina signala isto ovisi o snazi s kojom se šalje signal, no većina pristupnih točaka automatski prilagodi snagu te neće biti puno kontrole nad time, osim ako se ručno ne podešava konfiguracija potrošnje snage u milivatima (mW). [9]

Zaključno, jedini faktor koji, što je veći, pozitivno utječe u formuli, je dobitak antene prijemnika i odašiljača i izlazna snaga odašiljača. Ostale veličine u formuli trebaju biti manje: frekvencija, udaljenosti i valna duljina medija – u ovom slučaju zrak (može biti i prepreka).

Zadane veličine pri mjerenju će biti:

$d = 10 \text{ m}$

$f = 2.4 \text{ GHz}$

konstanta = -27.55

Dobitak odašiljača = 14 dBi

Dobitak prijemnika = 2 dBi

Gubitak prepreke = 0 dB

$P_{tx}$  pri 2.4 GHz = 13 dBm

$P_{tx}$  pri 5 GHz = 18 dBm

Savršeni signal mreže odmah do usmjernika u prosjeku je jačine -30 dBm, pa je okvirna konačna snaga mreže često računata tako da se na gubitak puta dodaje još tih -30 dBm-a. Ovaj rad će preciznije odrediti jačinu mreže tako da se izmjeriti gubitci na uređajima i ostali sporedni gubitci - oduzimanjem izmjerene jačine signala od jačine signala koja je izračunata poznatim parametrima. Rezultat će biti ukupni gubitak nepoznatih parametara koji je jednak sporednim gubiticima koji uključuju buku, interferenciju, gubitak prepreke, gubitak u elektronicu uređaja i ostale sporedne gubitke. [10]

Sljedeće je prikazan prosjek omjera signala sa kvalitetom mreže u tabličnom obliku. (Tablica 1).

Iduće će se razmotriti varijable u formuli i kako one utječu na konačni gubitak puta. Frekvencija rada je u ovom slučaju broj oscilacija vala po

*Tablica 1 Omjer snage signala i kvalitete mreže [10]*

*Table 1 Ratio of signal strength and network quality [10]*

Snaga Signala	Kvaliteta mrežne povezanosti	Opis	Minimalni uvjeti za:
-30 dBm	Odlična	Maksimalna snaga signala koju možemo doseći. U stvarnom svijetu ovakva situacija nije vjerojatna jer bi klijent bio odmah do izvora signala.	
-67 dBm	Vrlo Dobra	Minimalna snaga signala za aplikacije koje zahtijevaju vrlo pouzdanu i brzu dostavu podatkovnih paketa.	VoIP/VoWi-Fi, streaming video
-70 dBm	Dovoljna	Minimalna snaga signala za pouzdanu dostavu paketa.	Email, web
-80 dBm	Loša	Minimalna snaga signala za minimalnu povezanost. Dostava paketa nije pouzdana.	
-90 dBm	Nestabilna	Bilo koja funkcionalnost je neizvjesna.	

**Tablica 2** Izračun atenuacije varijacijom frekvencije [autorski rad]**Table 2** Calculation of attenuation by frequency variation [author's work]

Udaljenost (d) u metrima	Frekvencija (f) u GHz	Ptx (dBm)	Dobitak Odašiljača dBi	Dobitak Prijemnika dBi	Gubitak Prepreke dB	Sporedni Gubitci (dB)	Ukupni Gubitak (dB)	Konačna snaga signala mreže (dBm)
10	2.4	13	14	2	0	16	76.04	-47.04
10	5	18	14	2	0	16	82.42	-48.42

**Tablica 3** Izračun atenuacije varijacijom udaljenosti [autorski rad]**Table 3** Calculation of attenuation by distance variation [author's work]

Udaljenost (d) u metrima (m)	Frekvencija (f) u GHz	Ptx (dBm)	Dobitak Odašiljača (dBi)	Dobitak Prijemnika (dBi)	Gubitak Prepreke (dB)	Sporedni Gubitci (dB)	Ukupni Gubitak (dB)	Konačna snaga signala mreže (dBm)
5	2.4	13	14	2	0	16	70.02	-41.02
5	5	18	14	2	0	16	76.4	-42.4
4	2.4	13	14	2	0	16	68.09	-39.09
4	5	18	14	2	0	16	74.46	-40.46
3	2.4	13	14	2	0	16	65.59	-36.59
3	5	18	14	2	0	16	71.96	-37.96
2	2.4	13	14	2	0	16	62.06	-33.06
2	5	18	14	2	0	16	68.44	-34.44
1	2.4	13	14	2	0	16	56.04	-27.04
1	5	18	14	2	0	16	62.42	-28.42

sekundi, a veći broj oscilacija dozvoljava veći broj podataka prenesenih po sekundi. Za usmjernike i pristupne točke, frekvencija je postavljena na 2.4 GHz ili 5 GHz. Svuda u prostoru već putuju elektromagnetski valovi raznih frekvencija, pa je bitno da svaki bežični uređaj u dometu koristi razne frekvencije ili razne kanale tih frekvencija (usmjernici imaju 12 frekvencijskih kanala), da bi se spriječila buka i interferencija bežičnog signala. Iako veća frekvencija prenosi više podataka po sekundi, nedostatak je manji domet i veća apsorpcija viših frekvencija u preprekama. Stoga će se zaključiti da će prijenos sa 2.4 GHz biti pouzdaniji i većeg dometa, a 5 GHz manje pouzdan i manjeg dometa. Vršit će se mjerenje obje frekvencije pod istim uvjetima koristeći formulu gubitka puta i promatranjem kako će mreže analitičkim softverom. [1]

Vrijednosti koje su konstantne neće se upisivati u tablicu. Izračun se vrši teoretski link budget formulom, u svrhu razmatranja odnosa čimbenika bez odstupanja u stvarnom svijetu. U ovom primjeru bit će zadano da je gubitak prepreke 0, a sporedni gubitci 16 dB, što odgovara vrijednosti sporednih gubitaka okruženja gdje će se vršiti mjerenja. Ukupni gubitak je vrijednost u dB koja računa sve gubitke bez računanja snage odašiljača i dobitaka na antenama. Konačna snaga signala mreže je konačan rezultat nakon zbroja jačine odašiljača i dobitaka antene sa ukupnim gubitkom signala koji je sada prikazan kao negativan broj u dBm (Tablica 2).

Sljedeća tablica (Tablica 3) smanjuje udaljenost između antena naprema prethodnoj tablice kako bi se utvrdile atenuacije obzirom na varijacije udaljenosti.

Ishod je očekivan, tj. 2.4 GHz opet stvaraju bolju kvalitetu mreže nego 5 GHz. Da bi poboljšali kvalitetu signala pri 5 GHz, treba nadograditi na bolju antenu odašiljača i prijemnika, ali dok god je signal jači od 67 dBm-a, može se očekivati rad svih esencijalnih mrežnih protokola i stabilnu mrežu. Također iz ovog i prethodnog mjerenja zaključuje se da veća udaljenost između dviju antena najviše djeluje negativno na gubitak mrežnog signala, posebice pri većim frekvencijama. Nadalje, veći dobitci antene mogu popraviti signal jer se vrijednosti njihovog dobitka zbrojimo sa ukupnom snagom signala (Tablica 3). Tablica prikazuje da je na udaljenosti od 5 metara signal 2.4 GHz bolji od signala 5 GHz za oko 1.5 dBm, ali valja obratiti pozornost da u prosjeku, 5GHz snaga odašiljača je oko 18 dBm, a 2.4 GHz oko 13 dBm. Snaga odašiljača koji radi na 5GHz je tvornički podešena na veću snagu da bi se nadoknadio veći gubitak signala frekvencije 5GHz naspram signala frekvencije 2.4 GHz. Neki usmjernici dozvoljavaju podešavanje izlazne snage (Ptx) preko njihovog sučelja. [9]

Iduće će se razmotriti kako gubitak kojeg stvara prepreka utječe na signal. Na rezultat utječu gustoća materijala, struktura atoma i specifičnosti elementa, debljina prepreke, širina prepreke i slično. Često signal može zaobići prepreku odbijanjem te tako doći do krajnjeg odredišta. Gubitak prepreke se dobiva mjerenjem alatima za mjerenje gubitka. Kao alat se može koristiti i wireless adapter s jedne strane prepreke i usmjernik ili pristupna točka s druge strane, te se jednim od softvera za nadgledavanje i analizu može primijetiti za koliko se decibela gubitak povećao. Taj gubitak uračunava sve fizičke pojave kod EM valova kao što su: refleksija, apsorpcija, refrakcija, raspršivanje, interferencija i gušenje. Proučavati svaku pojavu nije konstruktivno jer niti jedna formula ne može predvidjeti sve materijale i situacije koje znatno mijenjaju rezultat. Stoga je najbolji način uračunavanja tih pojava u gubitak tako da ih se izmjeri od prepreke do prepreke, te da se stvori baza podataka sa opisom pojedinih prepreka, njihovom širinom i gubitkom. Tako će se lakše znati predvidjeti koji materijali i prepreke stvaraju najviše gubitka, a koji najmanje. [11]

### 3.2. FIZIČKE POJAVE KOJE DOVODE DO GUBITKA WIFI SIGNALA

#### 3.2. THE PHYSICAL PHENOMENA THAT LEAD TO LOSS OF WIFI SIGNAL

Refleksija je fizička pojava odbijanja elektromagnetskog vala o površinu materijala različitih elektromagnetskih svojstava od materijala kojim je do tada putovao. Neki materijali su više reflektivni od drugih. Refleksivnost površine bi stoga bila mjera količine reflektirane radijacije elektromagnetskog vala. Val će se reflektirati pod istim kutom kojim je došao do kontakta s površinom, ali zrcaljenim na suprotnoj strani. Međutim, važno je opet naglasiti da različiti materijali jače i manje reflektiraju val. Zato će, u većini slučajeva, val proći kroz materijal sa samo slabim gubitkom. Ponekad će refleksija, posebice na veće udaljenosti dovesti do gubitka signala, no u manjim prostorima će pomoći signalu da, odbijanjem od prepreka, dođe do odredišta ili prijemne antene. [11]

Kada elektromagnetski val prođe preko materijala, dogodit će se pojava refrakcije. Tada će val koji prođe kroz materijal promijeniti putanju pod drugačijim kutom. Refrakcijom možemo i usmjeravati val, ali nam je cilj smanjiti tu pojavu da bismo očuvali preciznost i cjelovitost vala – u slučaju računalnih mreža, informacije koju val prenosi. [11]

Širenje elektromagnetskog vala je širok pojam. Na primjeru bežične veze to je pojava gdje elektromagnetsko zračenje dolazi do neravne površine te se širi u puno smjerova. U svakodnevnom životu i uredskom okruženju, materijali koji najviše utječu na raspršivanje su namještaj, biljke, okrugli objekti, krovovi, metalni stupovi i slično. Na širenje može utjecati mnogo detalja poput svjetlosti, kapljica kiše, dijelova atmosfere i aviona, ali takve detalje ne susrećemo u računalnim LAN mrežama. [11]

Apsorpcija je gubitak potencijalne energije kada elektromagnetski val prolazi kroz neku prepreku određenog materijala. Različiti materijali i njihove gustoće imaju različite stupnjeve apsorpcije. Materijali koji su gušći i deblji, apsorbirat će više energije nego materijali manje gustoće. Ako

**Tablica 4** Mjerenja gubitka prepreka [autorski rad]**Table 4** Obstacle loss measurements [author's work]

Prepreka	Broj mjerenja (dBm)					Prosjeak gubitka (dBm)
	1.	2.	3.	4.	5.	
Cigleni Zid 27 cm	1	2	1	1	1	1.2
PVC prozor – 3.5 cm	5	6	6	7	6	6
Čovjek	4	4	2	3	3	3.2
Kućna biljka	4	5	5	4	5	4.6
Ugašeno računalo	1	1	1	1	1	1
Upaljeno računalo	2	3	3	4	3	3
Keramička ploča – 0.5 cm	1	1	1	1	1	1

se previše energije apsorbira prolaskom kroz materijal, snaga elektromagnetskog zračenja bit će previše mala ili kompletno izgubljena, te informacija koju val nosi neće stići na određenu lokaciju. Metalni uređaji, voda, cigleni, betonski i metalni zidovi apsorbiraju najviše. [11]

Buka i interferencija su pojave koje nemaju puno različitosti. Pošto razlike nisu čvrsto definirane, pojmovi se koriste naizmjenično. Glavna je razlika u tome da pojam "buka" označuje ometajuće signale koje generiraju elektronični uređaji u LAN mreži, dok "interferencija" opisuje ometajuće signale izvan LAN mreže. Stoga se na interferenciju signala ne može toliko djelovati, dok na buku može ako se smanji količina elektroničnih uređaja u mreži ili u prostoru kojem mreža operira. Buku mogu stvarati bežični telefoni, mikrovalni uređaji, radar, ostali mrežni uređaji, te ostali razni elektromagnetski signali u prostoru mreže i na putu signala. Dok ostali čimbenici opisuju utjecaj fizičkih stvari kao prepreku signalu, buka opisuje utjecaj ostalih signala na signal koji nosi informaciju unutar mreže. Buka se mjeri u decibelima (dB), od 0 do -120 dB. Prema tome, što je buka bliža -120 dB, to je interferencija manja. U prosjeku, zgrade s mrežnom opremom imaju vrijednosti od -90 do -98 dB. [12]

Pošto ne postoji formula koja bi teoretski procijenila gubitak svih tih pojava, u ovom radu će se koristiti softverski alati za mjerenje jačine mreže.

Da bi se izmjerio gubitak prepreke, koristit će se prijenosno računalo s analitičkim softverom

koji mjeri snagu signala mreže, uperenim prema usmjerniku koji je s druge strane prepreke. Uračunat će se udaljenost i debljina prepreke. Snaga usmjernika je 2.4 GHz. Udaljenost će biti u odstupanju 15 cm. Gubitak će se izraziti negativnim brojem jer ga se oduzima od izračuna gubitka puta da bi se dobila konačna vrijednost. Mjerenja će uračunati sve te pojave kod valova, te će dati najtočniji izračun gubitka. Pri mjerenju, uzeti će se u obzir da odašiljačka antena korištene pristupne točke šalje jednako signal u svim smjerovima oko sebe. Ovo mjerenje se vrši postavljanjem uređaja s prijemnom antenom odmah do prepreke, mjerenja gubitka u decibel-milivatima se prikazuje u cijelim brojevima (Tablica 4).

Da bi se donio ispravan zaključak, zadnje mjerenje gubitka keramičke ploče još je mjereno i drugi puta, pri čemu je prepreka postavljena između dviju antena na udaljenosti 2 metra. Rezultat je bio bez gubitka. Zaključeno je da signal zaobilazi prepreku, osim ako je prepreka previše široka. Isto se može uočiti da uključeno računalo ima veći gubitak od isključenog. To je zato jer rad elektroničnih uređaja smeta prolazu signala, tj. stvara interferenciju. Ako se hoće minimizirati gubitak, treba se pobrinuti da između dvije antene nema velikih prepreka i elektroničnih uređaja. Isto tako, antena će lakše komunicirati sa ostalim antenama ako je pozicionirana na povišenom položaju u prostoru.

Udaljenost se može skratiti u bežičnim mrežama približavanjem krajnjeg uređaja prema izvoru

**Tablica 5** Usporedba izmjerene jačine signala mreže i izračunate jačine signala mreže [autorski rad]**Table 5** Comparison of measured network signal strength and calculated network signal strength [author's work]

Udaljenost (m)	Jačina Signala po mjerenju (dBm)					Prosjek jačine signala (dBm)	Izračun jačine signala (dBm)	Odstupanje (dBm)
	1.	2.	3.	4.	5.			
1	-34	-35	-36	-35	-35	-35	-25.04	9.96
2	-40	-42	-43	-40	-41	-41.2	-31.06	10.14
3	-36	-39	-38	-38	-37	-37.6	-34.59	3.01
4	-44	-43	-45	-46	-44	-44.4	-37.09	7.31
5	-40	-41	-41	-41	-41	-40.8	-39.02	1.78
6	-40	-41	-40	-40	-40	-40.2	-40.61	0.59
7	-44	-44	-45	-45	-45	-44.6	-41.95	2.65

signala. Tako se smanjuje broj pristupnih točaka u mreži i smanjuje se atenuacija. Ako signal treba putovati na dalje udaljenosti, onda se mogu koristiti pojačivači signala. Često će pristupna točka imati mogućnost više načina rada, pa se može izabrati između rada pristupne točke ili ponavljača. To će smanjiti brzinu prijenosa, ali pojačati signal. [1]

Uspoređivanjem izmjerene jačine signala i izračunate jačine signala dobit će se odstupanje. Odstupanje će pokazati preciznost formule za izračun jačine signala. Formula za izračun jačine signala će biti već korištena link budget formula (2). Zbroj dobitaka antene će biti 16 dBi, a gubitci na usmjerniku i računalu 16 dB. Mjerenje će se vršiti u kućnoj mreži bez prepreke.

U ovom slučaju, odstupanja su gubitci buke, interferencije i odbijanja signala. Rezultati pokazuju da i u kućnoj mreži postoji velika zasićenost bežičnih signala, izvan mreže i iznutra, te da je u manjem prostoru veća refleksija putujućeg signala. [13]

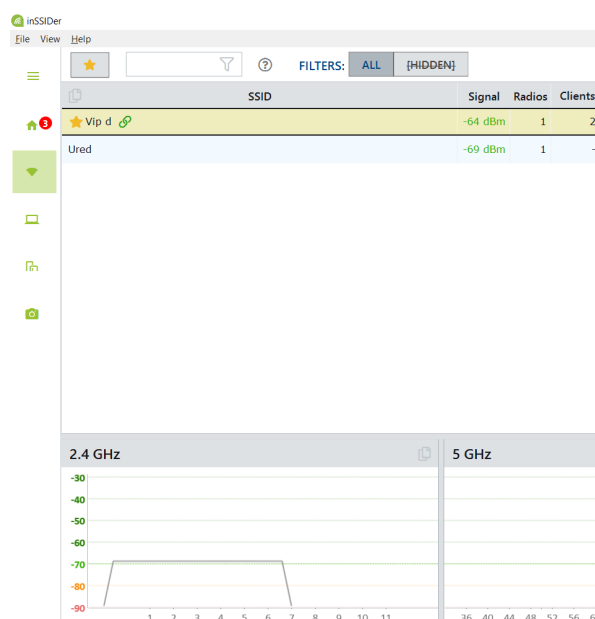
### 3.3. MJERENJE ATENUACIJE WIFI SIGNALA

#### 3.3. THE WIFI SIGNAL ATTENUATION MEASUREMENT

Pošto računalo koje je bežično spojeno na internet već ima potreban hardver za mjerenje signala mreže (bežični mrežni adapter), preostaje samo instalirati softver koji će pomoći analizirati atenuaciju signala. U svrhu mjerenja gubitka, korišteni su inSSIDder i WiFi analyzer. To su dva

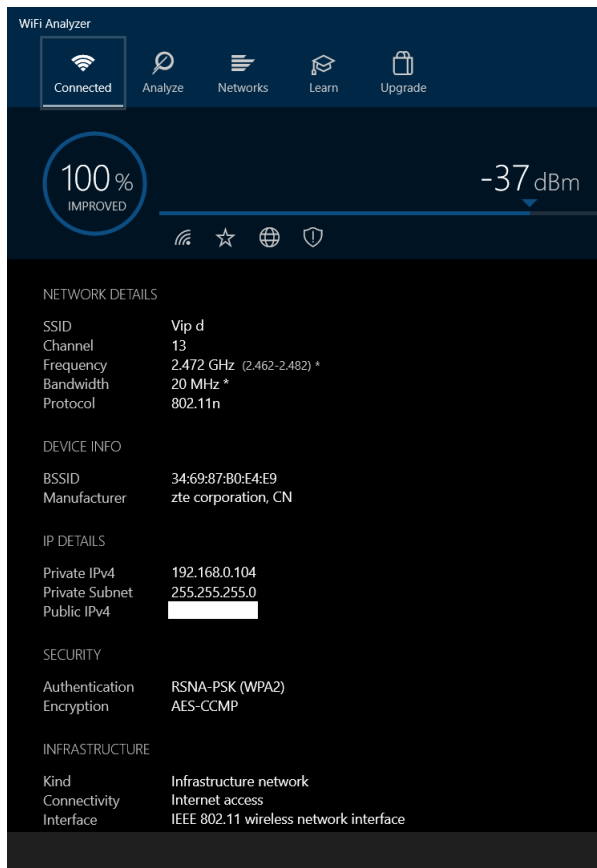
besplatna softvera Windows operacijskog sustava dostupna na internetu za preuzimanje.

inSSIDer prikazuje neke najosnovnije informacije kao što su: mreže u dometu, mreža na koju je računalo spojeno, jačina signala, broj odašiljača u mreži, broj klijenata i frekvencija koju koristi usmjernik (Slika 1).

**Slika 1** inSSIDer [autorski rad]**Figure 1** inSSIDer [author's work]

WiFi analyzer daje sličan prikaz s nekoliko dodatnih informacija. Dostupan je preko Microsoft Store aplikacije. Prikazana je: snaga signala, informacije i SSID mreža, korištena frekvencija usmjernika, širina pojasa usmjernika u megahercima, MAC i IP adrese, enkripcijski protokol, uptime mreže itd..





Slika 2 WiFi Analyzer [autorski rad]

Figure 2 WiFi Analyzer [author's work]

Korištenjem kombinacije tih dviju softvera, mogu se vršiti mjerenja u svakoj WiFi mreži.

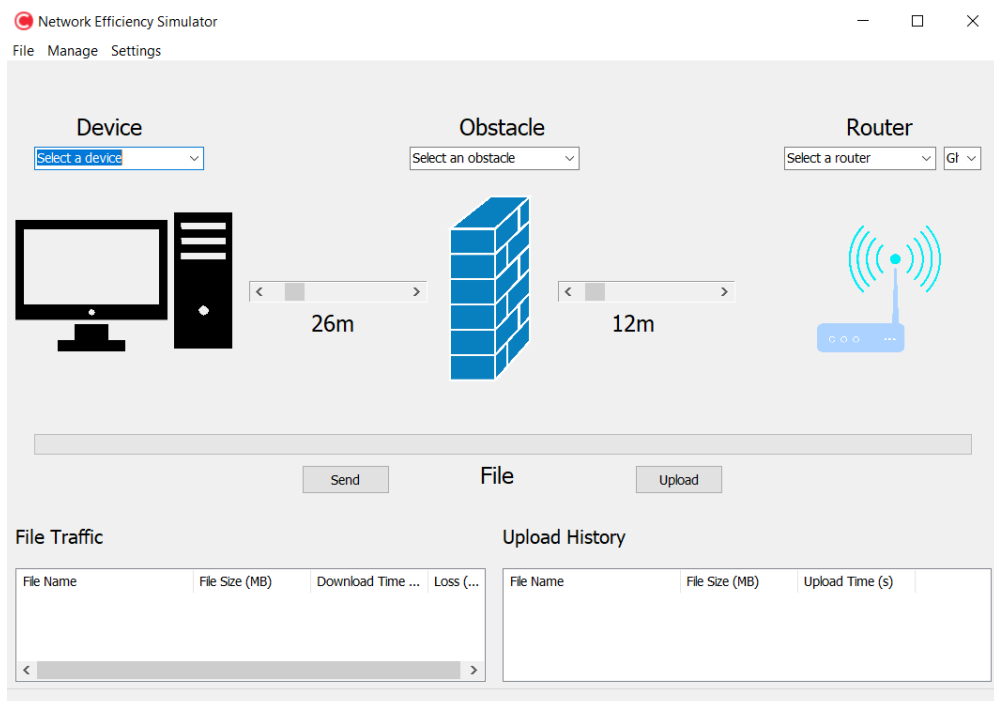
### 3.4. SIMULATOR MREŽNE UČINKOVITOSTI

#### 3.4. THE NETWORK EFFICIENCY SIMULATOR

U svrhu ovog rada, razvijena je aplikacija „Network Efficiency Simulator“, koja vraća okvirni finalni gubitak WiFi atenuacije oviseći o uređajima u mreži i prepriči između njih. Aplikacija je izrađena za Windows operacijske sustave (Slike 3. i 4).

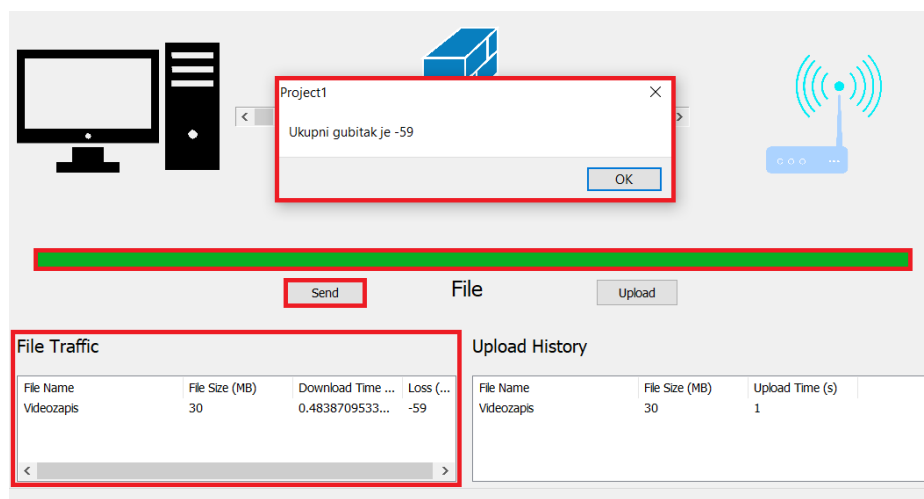
Aplikacija radi na način da nakon odabira parametara koje korisnik dodaje (i sprema u bazu podataka), simulacija slanja podataka vraća ukupni gubitak signala, te kašnjenje u sekundama oviseći o propusnosti i veličini podataka koji se šalju.

Aplikacija Network Efficiency Simulator je otvorenog koda. Korisna je pri projektiranju mreža, jer štedi na vremenu koje bi bilo provedeno da se svaki put ručno mjeri snaga mreže, i najvažnije od svega, potencijalno će spriječiti pogreške pri samoj arhitekturi prostora. Npr., ako se koristi bežični modem, a planiraju se radovi na izolaciji zidova, onda je moguće, koristeći ovu aplikaciju, provjeriti hoće li izolirani zid dovesti do većeg gubitka snage signala koji će potencijalno spriječiti mogućnost spajanja



Slika 3 Simulator mrežne učinkovitosti [autorski rad]

Figure 3 The Network efficiency simulator [author's work]



*Slika 4* Preuzimanje dokumenta [autorski rad]

*Figure 4* Document download [author's work]

na internet, ili znatno smanjiti kvalitetu usluge interneta. Baza za gubitke određenih prepreka specifičnih debljina se može popunjavati, te olakšava buduća računanja jer se ručna mjerenja za istu prepreku neće vršiti dva ili više puta.

#### 4. ZAKLJUČAK

#### 4. CONCLUSION

U ovom radu prikazani su čimbenici atenuacije i latencije koji utječu na rad lokalne WiFi, kako bi se razmotrile njihove potencijalne slabosti i snage, s ciljem boljeg projektiranja i optimizacije, te realiziranja efikasne i ekonomične WiFi mreže.

Najvažnija WiFi pristupna točka LAN mreže koristi frekvencije 2.4 GHz ili 5 GHz, gdje većina njih koristi frekvenciju 2.4 GHz koja je sporija u prijenosu informacija, ali ima veći domet i manju atenuaciju. U radu je opisana metoda izračuna i ispitivanja atenuacije varijacijom frekvencije i udaljenosti antene. Rezultati su pokazali da frekvencije WiFi točaka od 2.4 GHz stvaraju bolju kvalitetu signala nego oni od 5 GHz. U cilju poboljšali kvalitetu signala pri 5 GHz, treba nadograditi bolju antenu odašiljača i prijemnika, ali dok god je signal jači od 67 dBm-a, može se očekivati stabilni rad svih mrežnih servisa i protokola a time i mreže. Također se zaključuje da veća udaljenost između dviju antena najviše djeluje negativno na gubitak mrežnog signala, posebice pri većim frekvencijama.

U svrhu utvrđivanja WiFi gubitaka signala provedena su ispitivanja gubitka fizičkih

prepreka i pojava (kao što su: refleksija, refrakcija, apsorpcija, interferencija) metodom usporedba izračunatih jačina signala sa izmjerenim jačinama signala mreže. Za praktična mjerenja korišteni su softveri su inSSIDder i WiFi analyzer, oba softvera su besplatna i dostupna na internetu za Windows operacijske sustave. Ujedno u svrhu ovog rada a za ispitivanja finalnih gubitaka atenuacije razvijena je aplikacija „Network Efficiency Simulator“, kojom su izmjereni okvirni finalni gubitci WiFi atenuacije ovisno o uređajima u mreži i prepreci između njih.

#### 5. REFERENCE

#### 5. REFERENCE

- [1.] Dough Lowe, Networking All-In-One for dummies 8th edition, John Wiley & Sons, Inc., 2021
- [2.] What is Transmission Media in Computer Networks & Its Types: <https://www.elprocus.com/what-is-transmission-media-in-computer-networks-its-types/> [13.7.2022]
- [3.] Thomas A. Limoncelli, Christina J. Hogan, Strata R. Chalup, The Practice of System and Network Administration Second Edition, Virtual.NET Inc., and Lumeta Corporation, 2007. ISBN-13: 978-0321492661, ISBN-10: 0321492668
- [4.] Keith W. Ross; James F. Kurose. "Delay and Loss in Packet-Switched Networks", ISBN-13: 978-0132856201, ISBN-10: 0132856204

- [5.] Robert Keim, Understanding Bandwidth in Communications and Computing: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-bandwidth-in-communications-and-computing> [15.7.2022]
- [6.] CompTIA, What Is Attenuation in Networking?: <https://www.comptia.org/content/guides/what-is-attenuation> [14.7.2022]
- [7.] Free-space path loss: [https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space\\_path\\_loss](https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss) [15.7.2022]
- [8.] Link budget: [https://en.wikipedia.org/wiki/Link\\_budget#:~:text=A%20link%20budget%20is%20an,optical%20fiber%2C%20to%20the%20receiver.](https://en.wikipedia.org/wiki/Link_budget#:~:text=A%20link%20budget%20is%20an,optical%20fiber%2C%20to%20the%20receiver.) [15.7.2022]
- [9.] Texas Instruments, CC3100/CC3200 WLAN RF Transmit Power Peak and Average Measurements [https://www.ti.com/lit/an/swra460/swra460.pdf?ts=1661237883362&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/swra460/swra460.pdf?ts=1661237883362&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F), Texas Instruments Incorporated, 2014.
- [10.] MetaGeek, Understanding Wi-Fi Signal Strength Basics: <https://www.metageek.com/training/resources/wifi-signal-strength-basics/> [15.7.2022]
- [11.] RF Cafe, Understanding Electromagnetic Wave Behavior, Propagation, Huygens Principle, Absorption, Diffraction, Reflection: <https://www.rfcafe.com/references/electrical/electromagnetic-wave-behavior.htm> [14.7.2022]
- [12.] Britanica, Noise telecommunications: <https://www.britannica.com/technology/noise-telecommunications> [14.7.2022]
- [13.] Huawei Corporation, Wi-Fi Signal: [https://info.support.huawei.com/network/ptmngsys/Web/ONT\\_Basics/en/htmlfiles/wifi\\_signal.html](https://info.support.huawei.com/network/ptmngsys/Web/ONT_Basics/en/htmlfiles/wifi_signal.html) [13.7.2022]

## AUTORI · AUTHORS

• **Kruno Đelekovićan** - Rođen 17.10.1998 u Zagrebu, završio je eksperimentalni program tehničke gimnazije Tehničke škole Zagreb 2017. godine. Pohađanjem Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, stekao je zvanje stručnog prvostupnika inženjera informacijske tehnologije (bacc. ing. techn. inf.) 2022. godine. U struci posjeduje pola godine iskustva na poziciji IT tehničara.

### Korespondencija · Correspondence

[kruno.delekovican@tvz.hr](mailto:kruno.delekovican@tvz.hr)

• **Željko Širanović** - Nepromijenjena biografija.

### Korespondencija · Correspondence

[zeljko.siranovic@tvz.hr](mailto:zeljko.siranovic@tvz.hr)