

Pokrivanje zgrade signalom WLAN-a

Buljeta, Daniel

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:967749>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

POKRIVANJE ZGRADE SIGNALOM WLAN-a

Završni rad

Daniel Buljeta

Osijek, 2016.

**ETFOS**

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom studiju

Osijek, 5. srpnja 2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Daniel Buljeta
Studij, smjer:	Preddiplomski studij elektrotehnike
Mat. br. studenta, godina upisa:	3720, 2013.
Mentor:	Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje
Sumentor:	
Naslov završnog rada:	Pokrivanje zgrade signalom WLAN-a
Primarna znanstvena grana rada:	Radiokomunikacije
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	Telekomunikacije
Predložena ocjena završnog rada:	izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 Jasnoća pismenog izražavanja: 2 Razina samostalnosti: III

Potpis sumentora:

Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

Potpis predsjednika Odbora:

Dostaviti:



ETFOS

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 5. srpnja 2016.

Ime i prezime studenta:

Daniel Buljeta

Studij :

Preddiplomski studij elektrotehnike

Mat. br. studenta, godina upisa:

3720, 2013.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pokrivanje zgrade signalom WLAN-a**

izrađen pod vodstvom mentora prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drnje

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Daniel Buljeta

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. WLAN BEŽIČNE MREŽE	2
2.1. Povijest i razvoj bežičnih mreža.....	2
2.2. 802.11 standard	2
2.3. 802.11a standard.....	3
2.3.1. OFDM tehnika modulacije.....	4
2.4. 802.11b standard	4
2.5. 802.11g standard	4
2.6. Komponente 802.11 bežične mreže	5
2.7. Osnovni skup usluga BSS	5
2.8. Prošireni skup usluga EES	6
2.9. Pristupna točka	6
3. PROPAGACIJA RADIJSKOG-BEŽIČNOG SIGNALA U WLAN SUSTAVU	7
3.1. Fizikalni utjecaji na propagaciju radio vala	7
3.2. Gubitak snage signala.....	8
3.2.1. Prostiranje vala u slobodnom prostoru.....	8
3.2.2. Model prostiranja s dvije zrake	10
3.2.3. Višestazno prostiranje	12
3.3. Propagacija radio vala unutar zatvorenog prostora	13
3.3.1. Slabljenje snage signala u zatvorenom prostoru	14
3.3.2. Model propagacije u zatvorenom prostoru s gušenjem kroz zidove.....	14
3.3.3. Propagacija signala između katova	16
4. MJERENJE SIGNALA WLAN-a.....	17
4.1. WiFi Analyzer	17
4.2. Mjerenje snage signala u zgradi FERIT-a.....	18
4.3. Rezultati mjerenja	23
5. PRORAČUN DOMETA SIGNALA PRISTUPNIH TOČAKA.....	31
5.1. Karakteristike pristupne točke.....	31
5.2. Modeli prostiranja signala u zgradi FERIT-a.....	33
5.2.1. Model prostiranja signala kroz hodnik.....	33
5.2.2. Model prostiranja signala kroz prostorije.....	37

5.2.3. Model prostiranja signala pristupne točke sa kata iznad.....	43
5.3. Predloženi raspored i broj pristupnih točki WLAN signala u zgradi FERIT-a.....	47
6. ZAKLJUČAK	52
LITERATURA.....	53
ŽIVOTOPIS	54
SAŽETAK.....	55

1. UVOD

WLAN mreža ima sve rašireniju upotrebu jer omogućava mobilnost korisnika i mogućnost spajanja na bilo kojem mjestu pokrivenom signalom pristupne točke bez potrebe fizičkom vezom (kabelom i sl.). Prilikom prostiranja WLAN signala unutar zatvorenog objekta signal nailazi na različite prepreke: zidove, staklene površine, ploče između katova, različite objekte koji ometaju slobodno prostiranje signala, tako da jednom pristupnom točkom nije moguće osigurati pokrivenost čitave zgrade. Iz tog razloga se postavlja više pristupnih točki unutar zgrade. U ovom radu su opisane osnovne tehničke karakteristike WLAN mreže i njezinih sastavnih uređaja, provedeno je mjerenje signala u prizemlju i na tri kata zgrade Fakulteta elektrotehnike i računarstva Osijek (FERIT) te je predložen optimalan broj i raspored pristupnih točaka kako bi se osigurala zadovoljavajuća pokrivenost zgrade FERIT-a WLAN signalom. Mjerenje je provedeno na način da su pojedini pravci mjerenja odabrani tako da bi se na osnovu njih mogao stvoriti proračunski model za prostiranje signala kroz određeni tip prostora. Na osnovu mjernih rezultata stvoreni su modeli za proračun jakosti signala kod prostiranja signala kroz različite okoline. Stvorena su tri modela: za prostiranje signala kroz hodnik, za prostiranje signala kroz prostorije, te za prostiranje kroz hodnik signala pristupne točke sa kata iznad. U obzir su uzete vrste i raspored zidova, odnosno gušenje signala prilikom prolaska kroz različite prepreke. Na temelju dobivenih modela i parametara pristupnih točaka proračunati su maksimalni dometi za svaki tip prostora, za tri brzine prijenosa podataka. Na osnovu maksimalnog dometa za pojedini tip prostora određen je novi raspored i broj pristupnih točki koji bi osigurao pokrivenost čitave zgrade.

1.1. Zadatak završnog rada

U radu treba opisati osnovne tehničke karakteristike WLAN uređaja. Za odabranu zgradu treba odrediti optimalan broj pristupnih točaka i njihov raspored kako bi se osigurala zadovoljavajuća pokrivenost signalom. U obzir treba uzeti vrstu i raspored zidova, te gušenje signala kod prolaska kroz prepreke.

2. WLAN BEŽIČNE MREŽE

2.1. Povijest i razvoj bežičnih mreža

Prema [1] u kasnim 1990-im brzi žični Internet postaje raširen u zgradama i privatnim kućama. Brzi internet je postao neophodan za firme te standardne korisnike koji nisu bili zadovoljni sporim brzinama preuzimanja podataka koje su pružali modemi preko telefonske konekcije i bile ograničene na brzinu od 56kb/s. Iz tih razloga korisnici su prešli sa telefonske na kabelske konekcije ili DSL (*engl. Digital Subscriber Line*) koje su omogućavale brzine do 1Mb/s. Tih godina se pojavljuje velika upotreba prijenosnih računala zbog čega se osjetila potreba za razvojem bežičnog spajanja na internet. Narednih godina razvijaju su se dva bežična standarda ETSI (*engl. European Telecommunications Standards Institute*) i IEEE (*engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers*). ETSI je počeo razvijati HIPERLAN standard, dok je IEEE osnovao 802.11 grupu. Broj 802 u oznaci odnosi se na sve standarde koje IEEE dijeli sa LAN i MAN mrežama, dok broj 11 označava bežičnu lokalnu mrežu WLAN. Kasnije je HIPERLAN ugašen te 802.11 standard postaje rasprostranjen i prihvaćen širom svijeta.

2.2. 802.11 standard

Prva verzija 802.11 standarda podržavala je brzine od 1 do 2Mb/s i radila na nelicenciranom ISM (*engl. Industrial, Scientific, and Medical band*) području na 2.4 GHz . Kako ne bi došlo do interferencije koriste se dva načina proširivanja frekvencijskog spektra FHSS (*engl. Frequency Hopping Spread Spectrum*) i DSSS (*engl. Direct Sequence Spread Spectrum*). FHSS sustav stvara uže kanale (pod pojaseve) tako što dijeli frekvencijski spektar te prilikom emitiranja skače s kanala na kanal. Kod ovog načina signal se modulira frekvencijskom modulacijom (FSK- *engl. Frequency shift keying*) te se koristi u komunikacijskim kanalima u kojima postoji velika mogućnost interferencije i smetnji. DSSS metoda proširivanja spektra ne dijeli prijenosni kapacitet u kanale kao FHSS modulacija, nego spektar osnovnog signala širi po cijeloj širini frekvencijskog pojasa kanala. Kod obje metode bitovi se pretvaraju u niz simbola koji predstavljaju jedan ili više podataka. Kod DSSS modulacije signal se modulira faznom modulacijom (PSK-*engl. Phase shift keying*) te ova metoda osigurava pokrivenost većeg područja signalom i omogućava rad na većim udaljenostima. Standard definira MAC (*engl. Medium access control*) podatkovni podsloj, MAC servise i protokole te FHSS, DSSS i IR (infracrveni frekvencijski pojas) koji predstavljaju fizički sloj. Svi podslojevi standarda su navedeni u Tab.2.2.

Tab.2.1. Podslojevi 802.11 standarda

802.2		
802.11 MAC		
FHSS	DSSS	IR

Potrebe korisnika za što većom brzinom interneta rastu, te se za ostvarivanje većih brzina razvijaju dva standarda 802.11a i 802.11b. Grupa za razvoj 802.11a standard je istraživala ortogonalnu frekvencijsku metodu proširivanja spektra dok je grupa za 802.11b zadržala starije DSSS metode. U početku je 802.11b bio bolje prihvaćen, brzine su bile do 11Mb/s te ga je preuzelo poduzeće pod nazivom WiFi (*engl. Wireless Fidelity*). Brzina 802.11b standarda je uskoro postala nedovoljno velika što je ubrzalo razvoj 802.11a standarda koji koristi OFDM modulaciju, podržava brzine prijenosa podataka do 54Mb/s i koristi manje zauzeto frekvencijsko područje iznad 5GHz. Postoji još nekoliko izmjena 802.11a standarda kao što su 802.11h i 802.11j koji su prilagođeni za europske i japanske zahtjeve, te 802.11g standard koji radi pored 2,4 GHz području radi na 5 GHz području.

2.3. 802.11a standard

Ovaj standard je nadogradnja na osnovni 802.11 standard na fizičkom sloju, tako što koristi OFDM tehniku modulacije koja omogućava prijenos podataka velikim brzinama te radi u frekvencijskom spektru od 5 GHz kako bi se izbjegla mogućnost interferencije sa 2.45GHz područjem koje ima preširoku upotrebu.

Glavne karakteristike ovog standarda su [1] :

-Frekvencijski pojas 5,15-5,825 GHz ,

-razmak kanala 20 MHz

-brzine prijenosa : 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 i 54Mbit/s

-ispravljanje pogrešaka (FEC –*engl. Forward Error Correction*) u samom prijenosu podataka, gdje postoje načini kodiranja 1/2, 2/3 ili 3/4 ovisno o brzini prijenosa

-OFDM tehnika modulacije

2.3.1. OFDM tehnika modulacije

OFDM koristi veliki broj ortogonalnih frekvencijskih podnositelja. Podnositelji su modulirani jednom od modulacija te se paralelno prenose uz određeni broj N nositelja, sa trajanjem jednog simbola T_{s0} , a ukupan interval simbola traje $T_s = NT_{s0}$. Na ovom intervalu skupina nositelja mora biti međusobno ortogonalna što će biti ispunjeno ukoliko se nositelji razlikuju za cijeli broj perioda i frekvencije nositelja trebaju biti cjelobrojni višekratnici iste temeljne frekvencije. OFDM signal se generira (modulira za slanje) pomoću inverzne diskretne Fourierove transformacije (IDFT), a na prijemnoj strani demodulira pomoću diskretne Fourierove transformacije (DFT). U OFDM simbolu se razlikuju podnositelji: podaci i pilotski podnositelji. Od ukupno 64 frekvencijska podnositelja, 52 nose korisnu informaciju dok su ostalih 12 pilotski. Od ta 52 frekvencijska podnositelja 4 služe kao referenca u frekvenciji ili fazi tijekom prijenosa.

U 802.11a standardu koristi se OFDM tehnika modulacije sa 64 frekvencijska podnositelja, od kojih 52 mogu biti korisnički modulirani s binarnom diskretnom modulacijom faze (BPSK –*engl. Binary Phase Shift Keying*) ili kvadraturnom diskretnom modulacijom amplitude (QPSK- *Quadrature Phase Shift Keying*) u kombinaciji sa 16 kvadraturnom digitalnom modulacijom amplitude (16QAM- *Quadrature Amplitude Modulation*), ili samo s 64 QAM.

2.4. 802.11b standard

Standard 802.11b koristi isti MAC (*engl. Medium Acces Control*) kao i početni 802.11 standard no omogućava povećanu brzinu prijenosa. Moguće brzine su : 1, 2 , 5,5 i 11 Mb/s. Koristi nelicencirani ISM (*engl. Industrial, Scientific and Medical*) spektar od 2,4 GHz do 2,4835 GHz i frekvencijsku modulaciju uz proširenje spektra te zauzima pojas od 22 MHz oko srednje frekvencije. 802.11b koristi dvije metode kod odašiljanja podataka: za male brzine prijenosa DSSS u kombinaciji sa Baker sekvencama, dok za velike brzine prijenosa koristi CCK (*engl. Complete code keying*). Prilikom implementiranja bežične mreže ovog standarda postoji velika mogućnost stvaranja međusobne interferencije i smetnje sa uređajima koji rade u ISM spektru kao npr. mikrovalne pećnice, bežični telefoni, te ukoliko unutar zgrade postoji više lokalnih mreža ovog standarda moguća je međusobna interferencija i smetnja između njih.

2.5. 802.11g standard

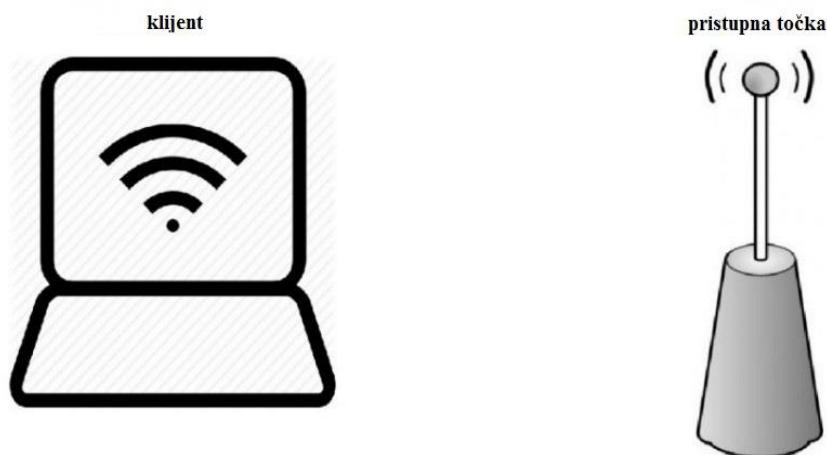
Standard 802.11g koristi OFDM modulaciju kao i 802.11a standard ali je kompatibilan sa uređajima 802.11b standarda. Podržava brzine kao i 802.11a standard. Uređaji mogu raditi na oba frekvencijska spektra i 2.4GHz (ISM spektar) i 5GHz.

2.6. Komponente 802.11 bežične mreže

802.11 bežična mreža sastoji se od: pristupne točke (AP-*engl. Access Point*), bežičnog medija i klijenta (prijemnika). Ukomponirane sve ove komponente pružaju mogućnost korištenja usluga koje pružaju određene WLAN mreže. Ukoliko u sustavu ne postoji pristupna točka (AP), tada se taj sustav naziva ad-hoc mrežom, odnosno to je sustav u kojemu su klijenti međusobno povezani. Bežični propagacijski kanal predstavlja medij koji povezuje odašiljač i prijemnik prilikom razmjene zahtjeva i njihovih izvršenja. Njegove karakteristike utječu na kvalitetu i učinkovitost samog prijenosa podataka. U bežičnoj mreži uređaji su povezani elektromagnetskim valovima, moguća je mobilnost korisnika, te nisu potrebne žice kako bi se priključili. Mane bežične mreže predstavljaju manje brzine prijenosa nego kod žične mreže i postojanje mogućnosti međusobne interferencije s ostalim bežičnim uređajima. Bežični kanali se razlikuju od žičnih kanala u tome što se kod bežičnih kanala signal pri prijenosu prostire višestavno pri čemu može doći do refleksije, difrakcije i raspršenja signala.

2.7. Osnovni skup usluga BSS

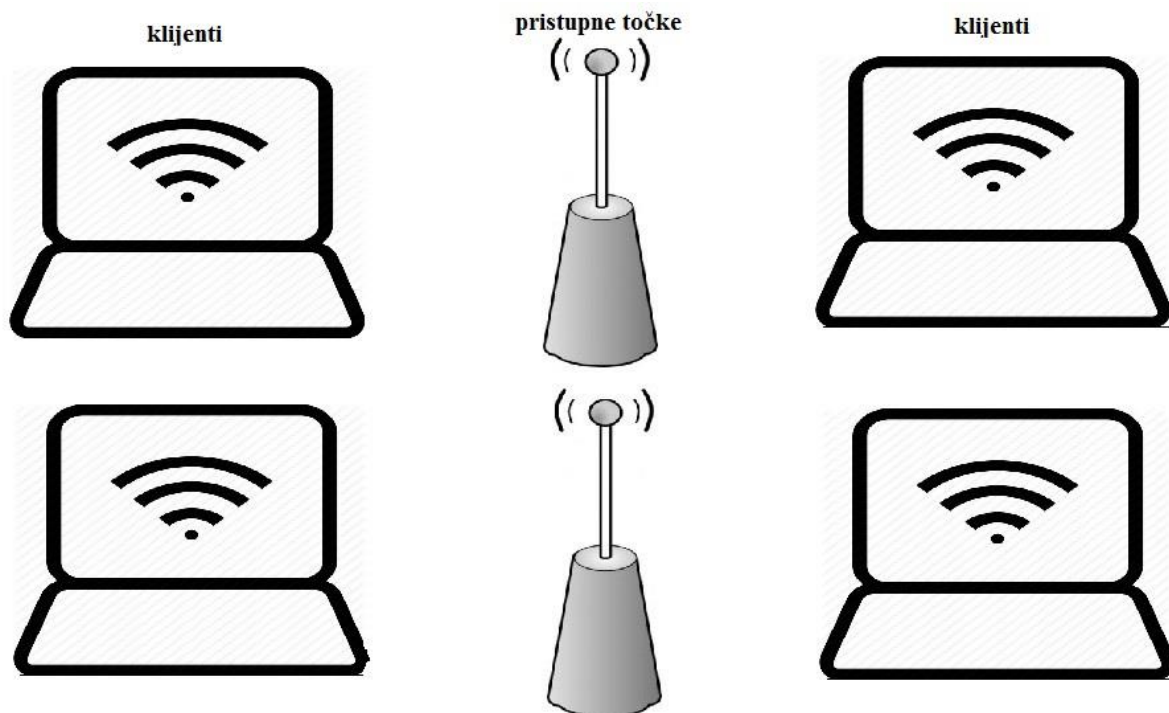
BSS (*engl. Basic Service Set*) predstavlja model mreže koja se sastoji od jednog ili više bežičnih klijenata i jedne pristupne točke (*engl. Access Point - AP*). Svim funkcijama unutar tog modela se upravlja i koordinira isključivo preko te jedne pristupne točke. Ovaj skup usluga prikazan je ikonicama prijenosnog računala (klijent) opremljenog bežičnom karticom i pristupne točke (Sl.2.1.).



Sl. 2.1. Osnovni skup usluga

2.8. Prošireni skup usluga EES

Ukoliko je model mreže BSS, mobilnost odnosno dostupnost signala bi bila uvjetovana pokrivenošću koje stvara jedna pristupna točka. EES (*engl. Extended Service Set*) povezuje više BSS-ova odnosno više pristupnih točki koje međusobno komuniciraju i postiže se veća pokrivenost područja signalom. Ovaj skup usluga prikazan je ikonicama prijenosnog računala i antena (Sl. 2.2.). Međusobno prosljeđivanje prometa odnosno preuzimanje korisnika između pristupnih točki postiže se distribucijskim sustavom DS koji je ujedno i jedan od najbitnijih dijelova WLAN mreže.



Sl. 2.2. Prošireni skup usluga

2.9. Pristupna točka

Pristupna točka je uređaj koji omogućava bežičnim uređajima pristup WLAN mreži, a samim tim ostalim podacima i mogućnostima te mreže. Uključuje se u konzentator, skretnicu ili ožičeni usmjerivač, šalje signale bežične mreže i ostvaruje pokrivenost područja. Ovaj uređaj povezuje žičnu mrežu i WLAN mrežu. Rastom broja klijenata (korisnika) i potreba za pokrivanjem većeg prostora signalom, raste i broj potrebnih pristupnih točki.

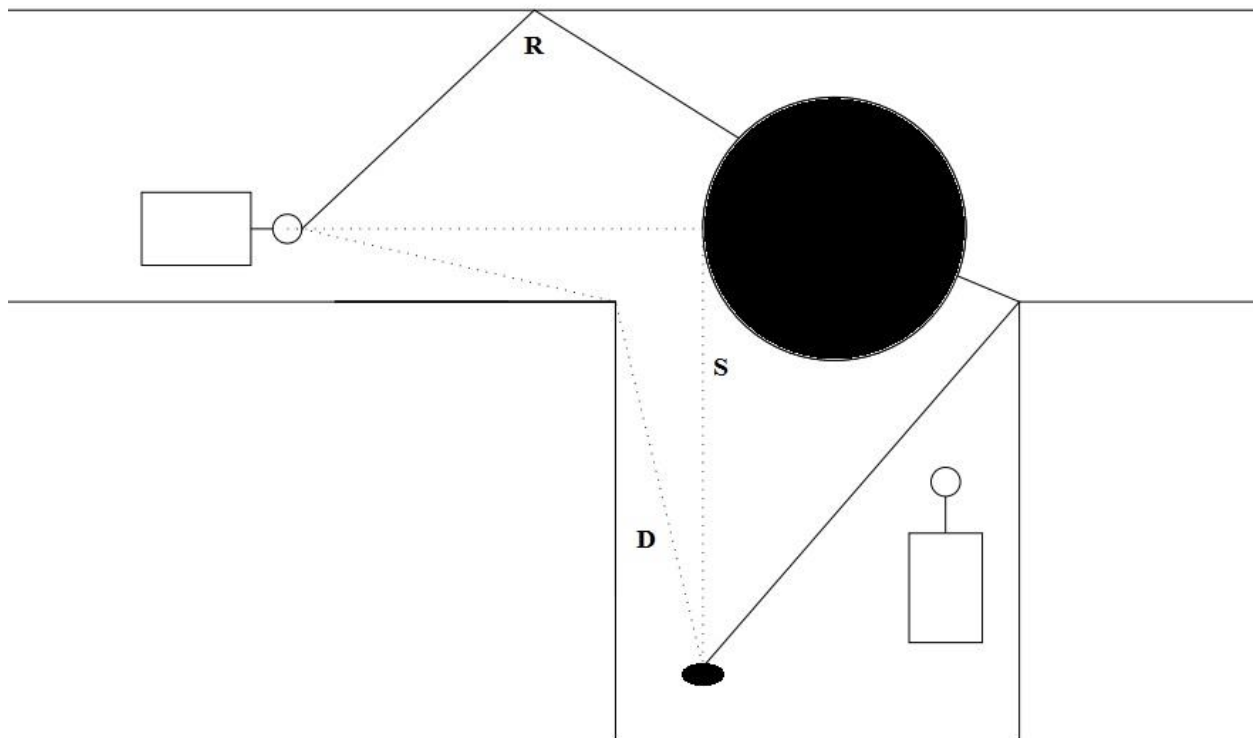
3. PROPAGACIJA RADIJSKOG-BEŽIČNOG SIGNALA U WLAN SUSTAVU

3.1. Fizikalni utjecaji na propagaciju radio vala

U WLAN sustavima komunikacija između klijenta i pristupne točke ostvaruje se radijskim kanalom. Radio signal na putu od odašiljača do prijemnika obično nailazi na prepreke od kojih se ogiba, raspršuje ili prolazi kroz njih pri čemu se dio energije vala apsorbira na prepreci. Propagacija signala utječe na komunikaciju na nekoliko načina. Prvi od njih je osiguranje minimalne srednje snage signala na određenom području što je ujedno i osnovni zahtjev za pouzdane komunikacije. Pri tome energija signala ne smije biti previsoka nego stabilna i ne mnogo promjenjiva po iznosu promatrano u određenom vremenskom intervalu, kako ne bi izazvala moguću interferenciju. Osim osiguravanja dovoljne srednje snage, potrebno je osigurati i prijenos poslanog spektra signala koji neće jako odstupati na prijemniku. Do izobličenja spektra signala često dolazi kod niskih razina snage, ali ponekada i ako se ostvari značajna srednja snaga, kvaliteta signala zna biti takva da se pojavljuju različite greške u komunikaciji. Uzrok tim greškama je međusimbolna interferencija jer na prijemnik radio val može doći različitim putanjama pri čemu dolazi do različitih kašnjenja pojedinih komponenti vala zbog različite duljine prijeđenog puta. Razumijevanje komunikacijskog kanala je važno kako bi se primijenile određene modulacije signala i kodiranja kanala za uspješnu komunikaciju te samim tim smanjila mogućnost pojavljivanja pogrešaka. Pri propagaciji radio signala u WLAN sustavima najčešće se pojavljuju tri mehanizma: refleksija, difrakcija i raspršenje. Refleksija nastaje kada elektromagnetni val nailazi na prepreku puno većih dimenzija od valne duljine radio vala odnosno kada je na granici dva medija s različitim elektrodinamičkim svojstvima. Na prijemniku se reflektirani val superponira direktnom valu te ukupna snaga signala može biti pojačana ili oslabljena tom refleksijom. Elektromagnetski valovi se često reflektiraju (odbijaju) od jednog ili više reflektirajućih objekata prije nego dođu do prijemnika. To se događa kada val padne na glatku površinu i velike objekte. Koeficijent refleksije, a isto tako i smjer odbijenih zraka određuju snagu primljenog signala na prijemniku [2].

Difrakcija nastaje kada val nailazi na prepreku na putu od odašiljača prema prijemniku pri čemu val bude prigušen ovisno o veličini i obliku prepreke te valnoj duljini vala. Ovim je omogućen prijem vala i iza prepreke odnosno iako prijemnik i odašiljač nisu vidljivi jedan drugome dolazi do prijema vala na prijemniku.

Raspršenje se pojavljuje kada radio kanal sadrži objekte dimenzija jednakih ili manjih od valne duljine radio vala. Pri tome se energija vala raspršuje u mnogim nepoznatim pravcima. Od ova tri mehanizma (utjecaja) raspršenje je najteže unaprijed predvidjeti. Prilikom propagacije signala najčešće se ovi utjecaji pojavljuju u kombinaciji (Sl. 3.1.).



Sl. 3.1. Mehanizmi propagacije radio vala: R-refleksija, S-raspršenje, D-difrakcija

3.2. Gubitak snage signala

Za proračun snage signala na prijemu potrebno je poznavati gubitke snage na putu od odašiljača do prijemnika. Pri tome može postojati optička vidljivost između odašiljača i prijemnika, pri čemu uz direktnu zraku na prijemnik mogu pristizati i reflektirane i difraktirane zrake. Kada nema optičke vidljivosti val može doći do prijemnika prolazeći kroz prepreke (kao što su zidovi), te također refleksijom i difrakcijom. Kod projektiranja radijskih sustava primjenjuju se modeli propagacije koji najbolje opisuju realnu situaciju.

3.2.1. Prostiranje vala u slobodnom prostoru

Jedan od osnovnih modela prostiranja vala je model prostiranja u slobodnom prostoru. Kod ovog modela postoji samo direktna zraka, a gubici nastaju zbog radijalnog širenja vala. Omjer snage privedene odašiljačkoj anteni i snage na stezaljkama prijemne antene naziva se gubitkom sustava.

Ovi gubici se najčešće izražavaju u [dB]. Gubici slobodnog prostora se prikazuju izrazom (3-1) prema [3].

$$L_{fs} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log d + 20 \log f - G_1 [dB] - G_2 [dB] \quad (3-1)$$

Gdje je:

d- udaljenost [m]

c-brzina širenja svjetlosti u vakuumu (brzina širenja elektromagnetskih valova) i iznosi $c = 299792458 [m/s]$

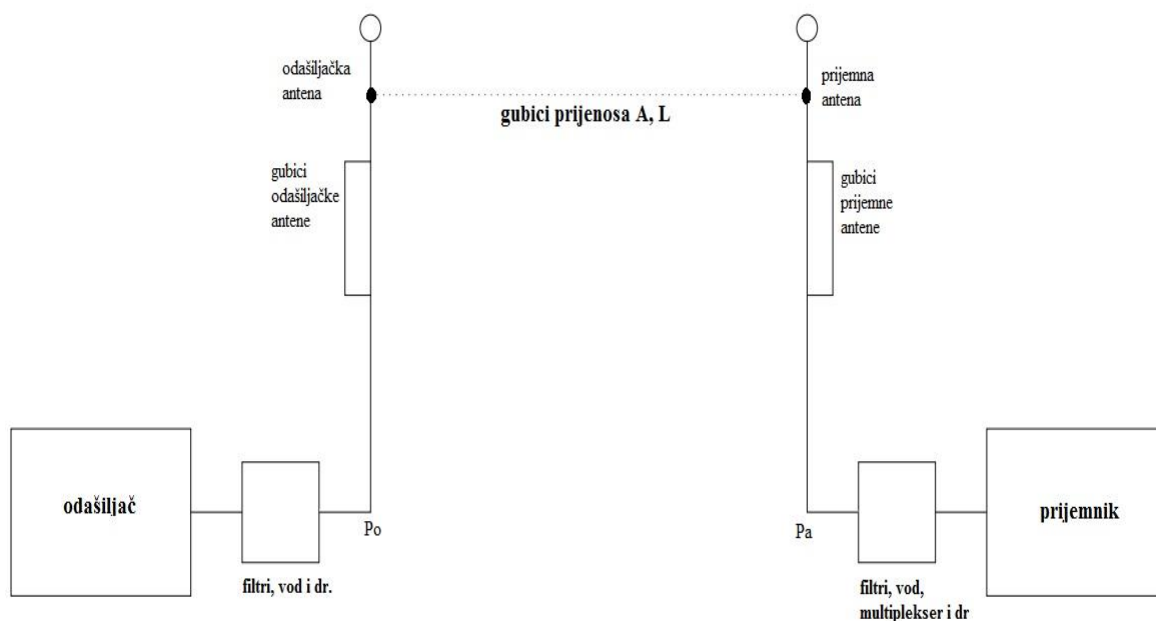
f-frekvencija [Hz]

G_1 - dobitak odašiljačke antene

G_2 - dobitak prijemne antene

Ukoliko se udaljenost izrazi u [km], frekvencija u [MHz], izraz za gubitke u slobodnom prostoru poprima sljedeći oblik:

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \log d [km] + 20 \log [MHz] - G_1 [dB] - G_2 [dB] \quad (3-2)$$



Sl. 3.2. Prostiranje vala u slobodnom prostoru

3.2.2. Model prostiranja s dvije zrake

Prema [3] na prijemnu antenu vrlo često pored direktnog vala stiže i val reflektiran od tla ili nekog bliskog objekta. Amplituda i faza reflektiranog vala ovisi o električnim karakteristikama površine od koje se reflektira, glatkoći površine, vrsti polarizacije i o kutu upada. Ukoliko površina nije dovoljno glatka snaga vala se rasprši. Za površinu se kaže da je glatka ukoliko pri paralelnom upadu dviju zraka nakon refleksije neravnost površine ne izazove razliku u duljinama prevaljenih puteva veću od $\lambda/8$, gdje je λ valna duljina radio vala. Ukoliko je zadovoljen Rayleighov kriterij odnosno $2H \sin \varphi \leq \lambda/8$, glavnina će se snage upadnog vala na reflektirajuću površinu reflektirati pod kutom jednakim kutu upada. Ukupno polje na prijemnoj anteni iznosi:

$$e \approx e_0 + e_1 = E_0 \cos \left[\omega \left(t - \frac{d_0}{c} \right) \right] + E_{10} \cos \left[\omega \left(t - \frac{d_1}{c} \right) + \psi \right] \quad (3-3)$$

Gdje su:

e - jakost i smjer elektromagnetskog polja ukupnog vala (superponiranih komponenti direktnog i reflektiranog vala)

e_0 - jakost i smjer elektromagnetskog polja direktnog vala

e_1 - jakost i smjer elektromagnetskog polja reflektiranog vala

E_0 - amplituda električnog polja na udaljenosti d_0 od odašiljačke antene u smjeru maksimalnog zračenja , i računa se prema relaciji (3-4)

$$E_0 = \frac{30 \sqrt{P_0 \cdot g_1}}{d_0} \quad (3-4)$$

E_{10} - amplituda električnog polja reflektiranog vala na udaljenosti d_1 i računa se prema relaciji (3-5)

$$E_{10} = |R| \frac{30 \sqrt{P_0 \cdot g'_1}}{d_1} \quad (3-5)$$

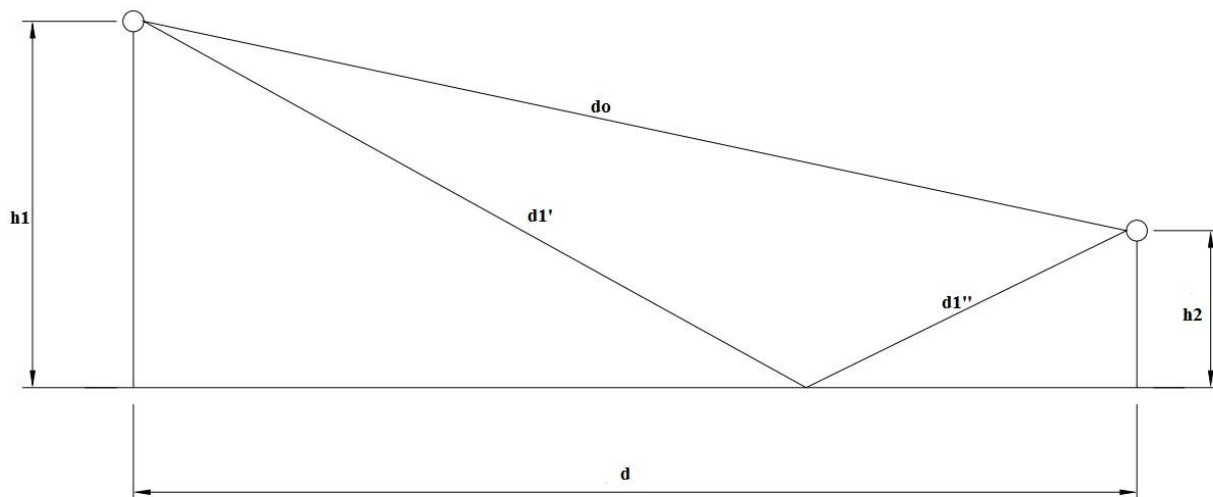
d_0 - put koji prelazi direktna zraka (računa se Pitagorinom poučkom ili nekim drugim matematičkim postupkom preko kateta i kutova)

d_1 - kut koji prelazi reflektirana zraka (zbroj d_1' i d_2' , dok se one pojedinačno dobivaju Pitagorinim poučkom ili nekim drugim matematičkim postupkom preko kateta i kutova)

R- kompleksni koeficijent refleksije

ψ - promjena faze koja nastaje zbog refleksije od reflektirajuće površine

R- faktor refleksije površine od koje se zraka reflektira



Sl.3.3. Prostiranje elektromagnetskog vala

Relacije (3-4) i (3-5) služe za izračun amplitude direktnog i reflektiranog vala, gdje je g_1 dobitak odašiljačke antene u smjeru direktne zrake, dok je g_1' dobitak odašiljačke antene u smjeru reflektirane zrake.

h_1 -visina odašiljačke antene

h_2 -visina prijemne antene

Put direktne zrake možemo izračunati prema relaciji (3-6)

$$d_0 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \approx d \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_1 - h_2}{d} \right)^2 \right] \quad (3-6)$$

Put reflektirane zrake možemo iskazati prema relaciji (3-7)

$$d_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} \approx d \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_1 + h_2}{d} \right)^2 \right] \quad (3-7)$$

3.2.3. Višestazno prostiranje

U WLAN sustavima radio val dolazi na prijemnik najčešće po više različitih putanja ili staza, što se naziva višestazno prostiranje. S obzirom da za različite pozicije klijenta uvjeti propagacije različiti, modeli koji se koriste za proračune WLAN sustava obično ne koriste geometrijske

podatke kao model prostiranja u slobodnom prostoru i model s dvije zrake. Obično se koriste empirijski modeli u kojima su na temelju velikog broja mjerenja određeni parametri modela.

Jedan od najčešće korištenih modela je model gubitaka ovisan o udaljenosti između odašiljača i prijemnika, te o parametru n koji određuje brzine porasta gubitaka s udaljenosti. To je dano izrazom (3-8).

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (3-8)$$

gdje je : - $PL(d)$ - Gubitak snage signala na udaljenosti d

- $n=2$ za slobodni prostor, a $n>2$ za WLAN sustave

- $PL(d_0)$ - daje gubitak na poznatoj udaljenosti d_0 ovisno o sustavu za koji se računa (za mobilne sustave 1km, mikroćelijski sustavi 100m, za zatvorene prostore 1m)

- X_σ - Gaussova varijabla standardne devijacije σ i nultim očekivanjem

3.3. Propagacija radio vala unutar zatvorenog prostora

Propagacija vala unutar objekta je izravno povezana s propagacijskim uvjetima koje pruža prostor kroz koji se val prostire. Zbog specifičnosti prostora objekti se obično dijele na : prigradske stambene kuće, gradske stambene kuće, stare zgrade s debelim zidovima koji predstavljaju jake pregrade i prepreke prostiranju signala, zgrade s 'pomičnim' odnosno lako promjenjivim zidovima (slabe prepreke za prostiranje signal), tvornice, razne trgovine i sportske arene, [2]. Jake prepreke predstavljaju zidovi koji se ne mogu lako promijeniti odnosno izmjestiti, dok unutar novih zgrada postoje većinom slabe prepreke kao što su uredske pregrade koje se lako ruše i postavljaju nove. Tvornice i trgovine sadrže metalne pregrade i police što značajno utječe na propagaciju signala. Signal se propagira po više putanja, a dodatna gušenja se pojavljuju kod prolaska vala kroz zidove. Objekti koji sadrže manje zidanih prepreka stvaraju manja gušenja i mala kašnjenja pri prostiranju signala, [2]. Odlikuju se kašnjenjima od 30 do 60ns. Takve zgrade podržavaju brzine prijenosa podataka od nekoliko Mb/s. Dok postoje zgrade koje sadrže velike količine zidanih prepreka i omogućavaju brzine tek do nekoliko stotina kb/s. Nadalje, kretanje ljudi između odašiljača i prijemnika stvara vremenski promjenjiv radio kanal. Mjerenja pokazuju da za fiksne uređaje stalna kretanja ljudi uzrokuju promjenu signala koja se može opisati Riceovom raspodjelom. Kada se

koristi prijenosni uređaj promjena signala se može opisati Riceovom ili Rayleighovom raspodjelom, [2].

3.3.1. Slabljenje snage signala u zatvorenom prostoru

Slabljenje snage signala u zatvorenom prostoru može se izraziti relacijom (3-8) . Parametri modela se mogu dobiti na temelju mjerenja u različitim objektima, a u Tab.3.1. dani su parametri za različite tipove objekata prema [2].

Tab.3.1. Parametri slabljenja signala različitih zgrada, [2]

Zgrada (namjena)	Frekvencija(MHz)	n	σ [dB]
Dućan	914	2.2	8.7
Samoposluga	914	1.8	5.2
Uredi, zidani zidovi	1500	3.0	7.0
Uredi, pregradni zidovi	900	2.4	9.6
Uredi, pregradni zidovi	1900	2.6	14.1
Tvornica tekstil/kemijska	1300	2.0	3.0
Tvornica tekstil/kemijska	4000	2.1	7.0
Tvornica papira	1300	1.8	6.0
Tvornica metala	1300	1.6	5.8

Parametar σ je standardna devijacija varijable X_{σ} u izrazu (3-8). Manja vrijednost ovog parametra ukazuje na manje odstupanje izmjerenih vrijednosti od vrijednosti dobivenih modelom. Parametar n se kreće od 1.6 do 3.0 te ovisi o frekvenciji i vrsti objekta. Najveći n je za objekt s uredima koji su pregrađeni zidanim zidovima, gdje je gušenje najveće te nema direktne vidljivosti između odašiljača i prijemnika. Parametar n manji od 2 je dobiven za veće otvorene prostore (samoposluga, tvornica) gdje postoji direktna udaljenost, a refleksije pojačavaju signal pri superpoziciji s direktnom zrakom.

3.3.2. Model propagacije u zatvorenom prostoru s gušenjem kroz zidove

Za precizniju procjenu gušenja u zgradama može koristiti model koji uzima u obzir gušenje vala kod prolaska kroz svaki pojedini zid. Prema [4] gušenje signala prema ovom modelu dano je izrazom (3-9)

$$L = L(d) + L_{ws}(vi) + n_w L_{wi} \quad (3-9)$$

Gdje je: L- ukupno gušenje vala

L(d)- gušenje unutar zgrade, ovisno o udaljenosti d

L_{we} - gušenje signala vanjskim zidom

L_{wi} - gušenje signala unutarnjim zidom

n_w -broj zidova između odašiljača i prijemnika

Pri tome se prema (3-9) može izračunati gušenje koje odgovara određenoj vrsti zida, kako je dano u Tab.3.2.

Tab.3.2. Slabljenje signala zbog drugačije vrste zida, pregrada, [4]

Vrsta zida	Min. L_{zida} [dB]	Srednje L_{zida} [dB]	Max L_{zida} [dB]
Puni 25cm, betonski zid, veliki prozori	4	4	5
Puni 25cm, betonski zid, veliki prozori i veliki upadni kut	9	11	12
Puni betonski zid, bez prozora	10	13	18
Dupli (2 x 20cm) betonski zid (unutar objekta)	14	17	20
Tanki (10cm) betonski zid (unutar objekta)	3	6	7
Ciglani zid, mali prozori	3	4	5
Čelični zid (1cm), veliki metaliziranim prozori	9	10	11
Stakleni zidovi	1	2	3
Metalizirani stakleni zidovi	7	8	9
Betonski zidovi (20cm), veliki prozori	-	5.4	-
Betonski zidovi 30cm	-	9.4	-
Ciglani zid, 30cm	-	4.0	-
Ciglani zid, 70cm	-	4.5	-
Ciglani zid, 70cm	-	9.1	-
Porozni beton	-	6,6	-

Deblji zidovi, te prepreke s metalom više guše signal, dok veliki prozori s nemetaliziranim staklom smanjuju gušenje. Kut upada vala također utječe na gušenje, koje se povećava što je kut upada veći.

3.3.3. Propagacija signala između katova

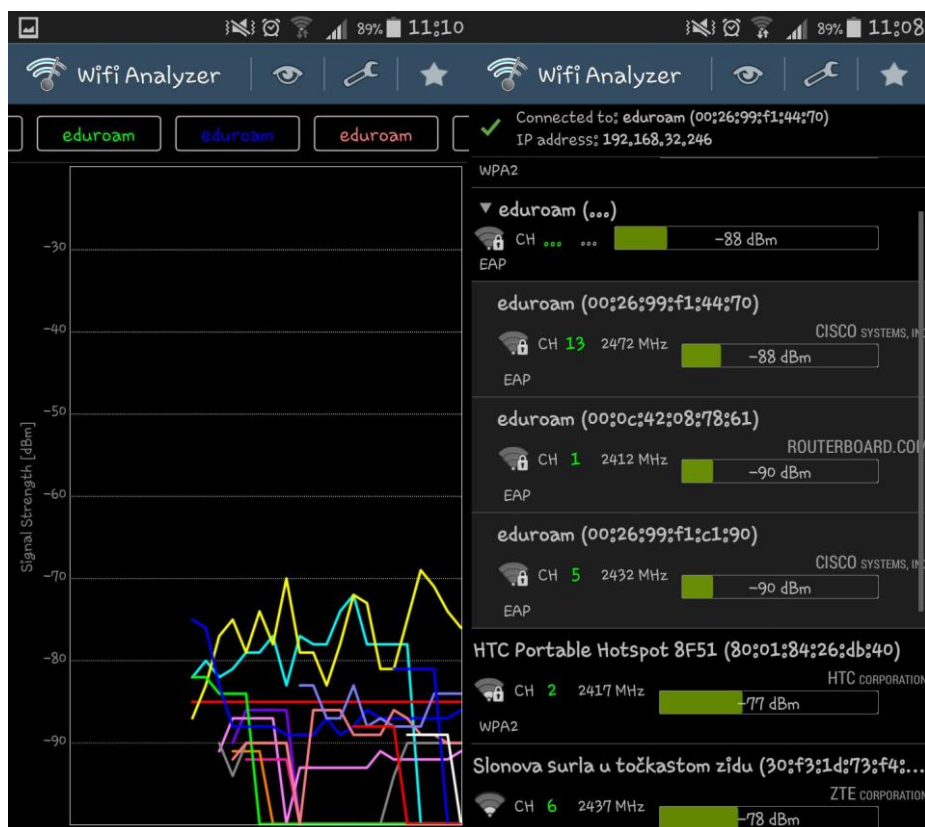
Određivanje uvjeta propagacije između katova je važno unutar višekatne zgrade kada se jednom pristupnom točkom pokriva prostor više katova. Vrsta materijala od čega su pravljene podovi, stropovi između katova utječu na smanjivanje snage RF signala. Lijevani beton preko metalnih greda uzrokuje manje opadanje snage RF signala nego preko čelične grede koje su korištene za razdvajanje katova na starijim zgradama. Prema [2] opadanje snage RF signala ovisi i o obliku zgrade, tako da kvadratne zgrade uzrokuju veće opadanje nego pravokutne. Metalizirane staklene pregrade uzrokuju veće opadanje snage RF signala između katova zgrade. Mjerenja pokazuju da opadanje jakosti RF signala nije linearno sa povećanjem udaljenosti. Najveći faktor gubitka s udaljenosti je za samo jedan kat između odašiljača i prijemnika. Povećanjem broja katova taj faktor više nije toliko velik. Prosječna vrijednost opadanja signala između dva kata je 15 dB, a dalje opadaju po 6 do 10 dB za svaki sljedeći kat.

4. MJERENJE SIGNALA WLAN-a

Kako bi se dobio uvid u propagaciju signala u zatvorenom prostoru, u praktičnom dijelu ovog završnog rada napravljena su mjerenja signala WLAN sustava u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek - FERIT, u ulici Kneza Trpimira 2b. Mjerenja su napravljena pomoću aplikacije WiFi Analyzera u prizemlju i na tri kata zgrade.

4.1. WiFi Analyzer

WiFi Analyzer je aplikacija za android mobilne uređaje koji posjeduju WiFi antenu. Ova aplikacija omogućava pregled dostupnih WLAN mreža, ponuđenih kanala mreže, kanala na koji se uređaj spoji i njegove zagušenosti, te mjerenje snage signala. Prikazuje MAC, IP adresu uređaja na koji je mobilni (mjerni) uređaj spojen i autorizacijsku zaštitu korištenu pri spajanju mobilnog (mjernog) uređaja na pristupnu točku. Aplikacija ima više načina prikaza snage signala: promjena snage signala u vremenu prikazana je dijagramom (lijevi dio Sl. 4.1.) i prikaz trenutne snage signala po pojedinom kanalu odnosno snaga signala koju pruža dostupna WLAN mreža (desni dio Sl. 4.1).



Sl.4.1. Prikazi snage signala unutar WiFi Analyzer aplikacije

4.2. Mjerenje snage signala u zgradi FERIT-a

Mjerenje signala se provodilo mobilnim uređajem pomoću mobilne aplikacije WiFi Analyzer na četiri etaže zgrade FERIT-a. Zgrada FERIT-a sastoji se od prizemlja i tri kata. Unutar zgrade raspoređene su četiri pristupne točke, jedna pristupna točka se nalazi na nultom katu odnosno prizemlju, dvije pristupne točke se nalaze na prvom katu, niti jedna pristupna točka se ne nalazi na drugom katu i jedna pristupna točka se nalazi na trećem katu. Položaj pristupnih točki i pravci mjerenja na određenom katu ucrtani su na tlocrtima katova zgrade (Sl. 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.). Položaj pristupne točke na tlocrtu svakog kata je označen sa AP i manjom crnom elipsom. Pravci mjerenja su označeni sa KX-MTY, gdje X označava kat na kojem se provodi mjerenje (te tako za nulti kat je K0, dok je za prvi kat K1 i tako redom), Y određuje broj pravca mjerenja (te tako za prvi pravac mjerenja oznaka je MT1, za drugi MT2 i tako redom). Ukoliko je pored standardne oznake pravca mjerenja dodan određeni broj, KX-MTY-Z, taj broj Z govori u udaljenosti mjernog mjesta od položaja pristupne točke (npr. K3-MT4-8, znači da je mjerenje vršeno na trećem katu, u pravcu mjerenja četiri te na udaljenosti 8 [m] od pristupne točke). Drugi kat ne sadrži niti jednu pristupnu točku te su mjerenja na tom katu vršena prema signalu koji se dobivao sa pristupne točke na trećem katu. Mjerenje je vršeno na visini od 1,20 [m] od poda, te su udaljenosti određivane tračnim metrom. Udaljenost od poda do stropa iznosi 3,36 [m], dok debljina ploče stropa iznosi 0,58 [m]. Pristupne točke su smještene na spušenom stropu na naznačenim mjestima u tlocrtima, odnosno na visini od 3,36 [m]. Tračni metar se postavljao neposredno ispod pristupne točke, te najmanja udaljenost do pristupne točke prema tom iznosi 2,16[m], dakle (3,36[m] – 1,20[m]). Za svaki naredni metar pomaka mjernog uređaja, primjenom Pitagorinog poučka, na temelju udaljenosti naznačene na tračnom metru i visine od poda do pristupne točke izračunata je udaljenost između mjernog mjesta i pristupne točke (4-1).

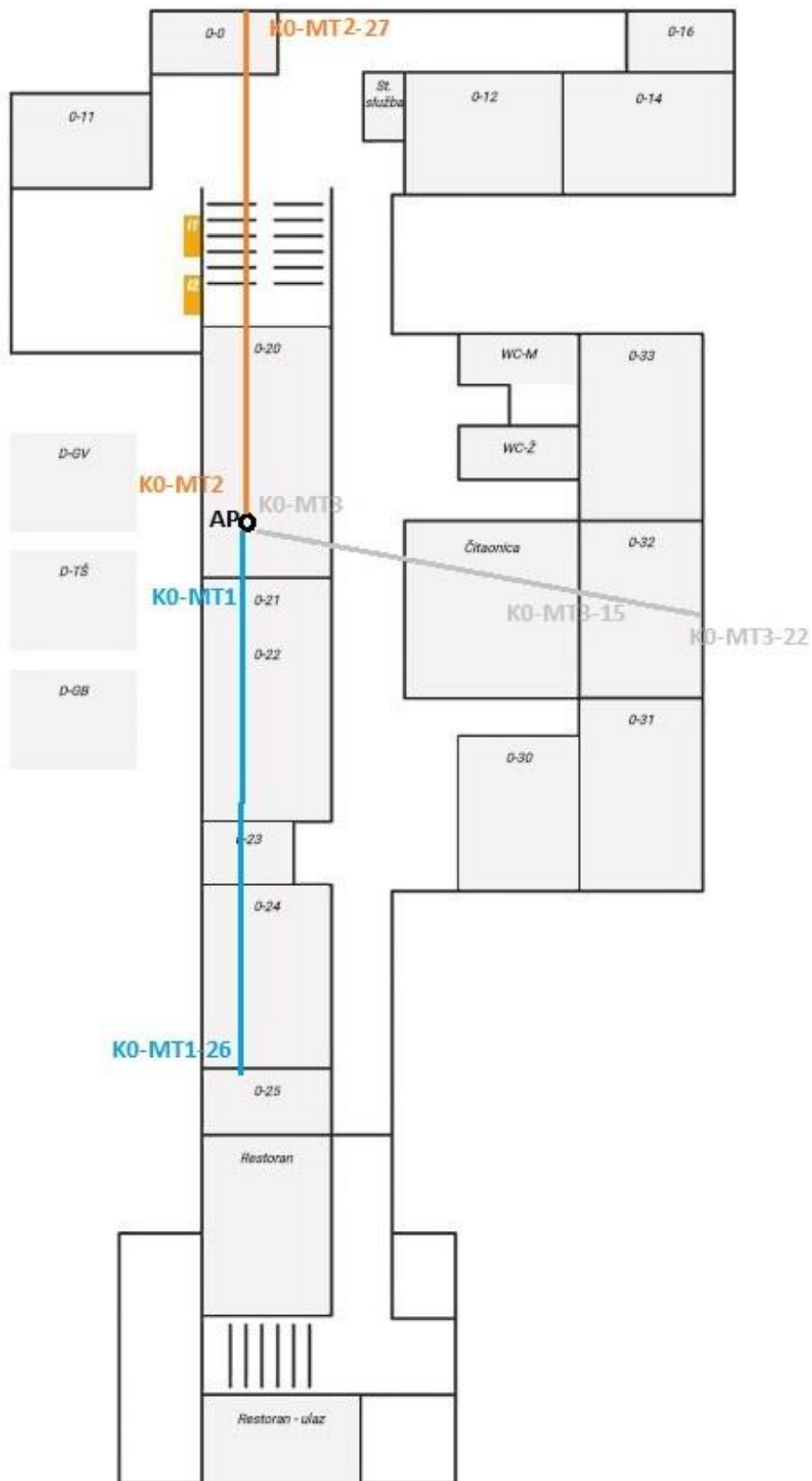
$$d = \sqrt{t^2 + h^2} \quad (4-1)$$

Gdje je: d- udaljenost mjernog mjesta i pristupne točke [m]

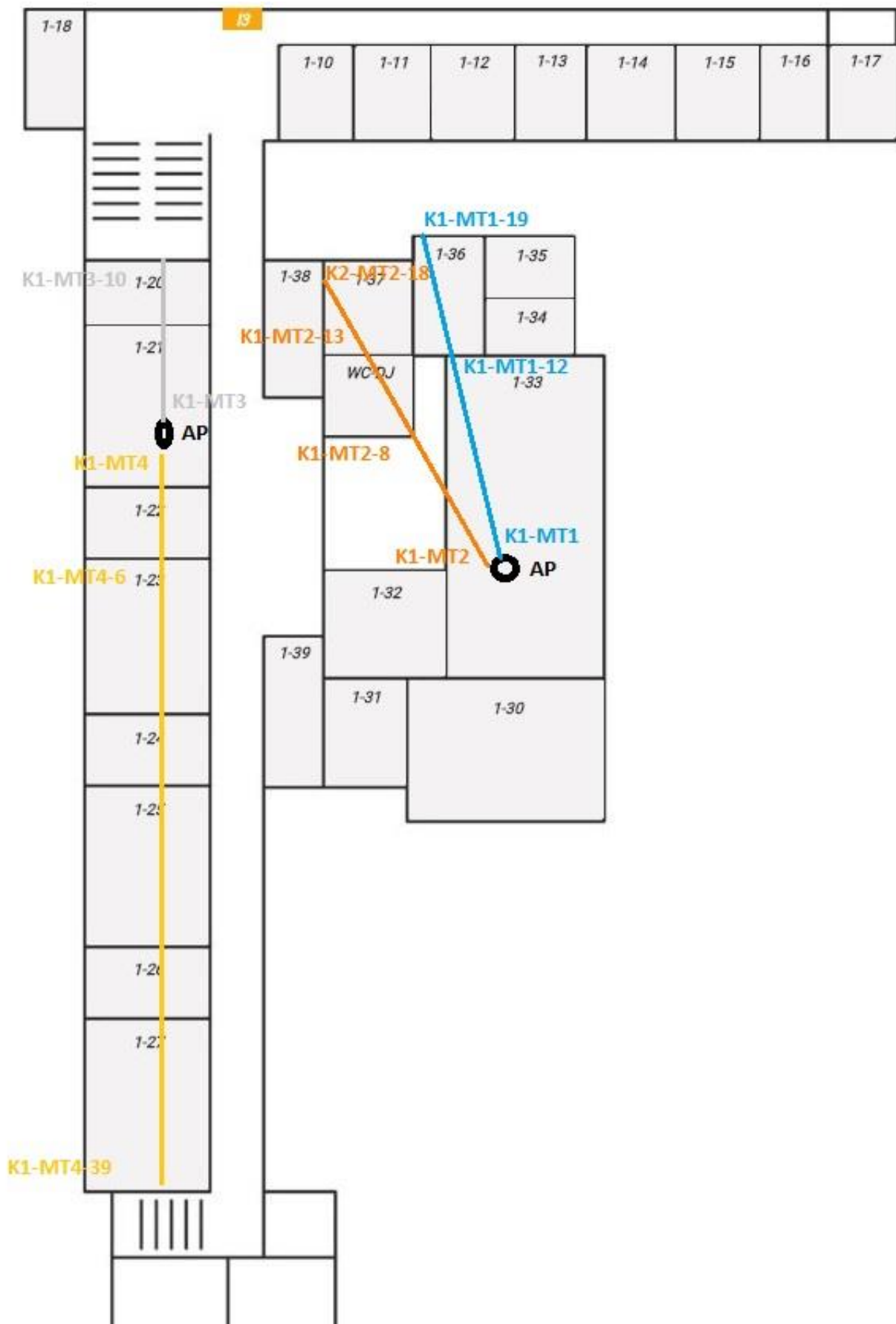
t- udaljenost mjernog mjesta na tračnom metru [m]

h- udaljenost od poda do stropa (visina kata), odnosno od početne točke tračnog metra do pristupne točke [m]

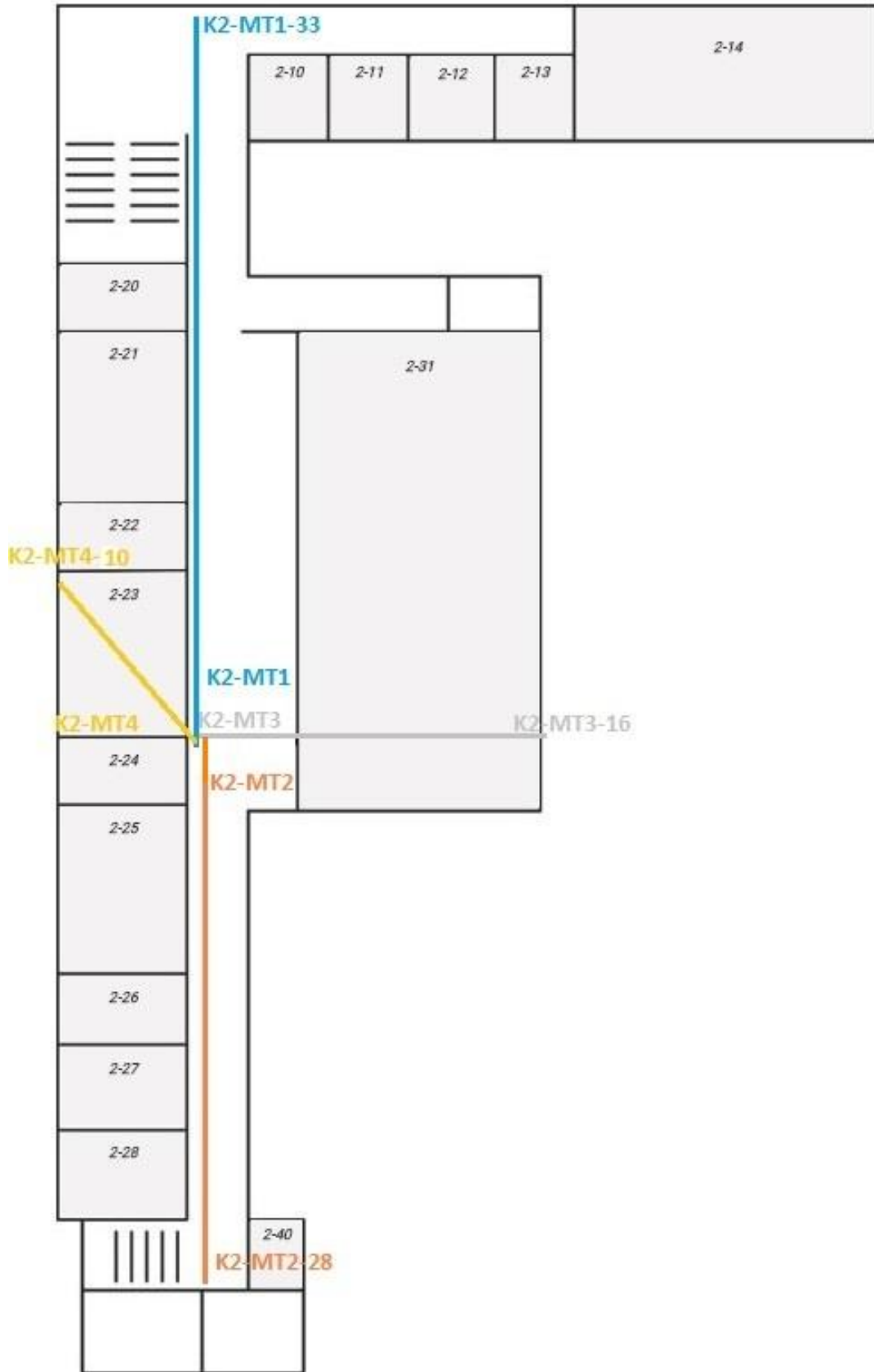
Pri mjerenju na drugom katu mjerena je snaga koju pruža pristupna točka s trećeg kata te je pri izračunu udaljenost od nje, uzeta u obzir visina katova, visina na kojoj se nalazi mjerni uređaj te debljina ploče između katova.



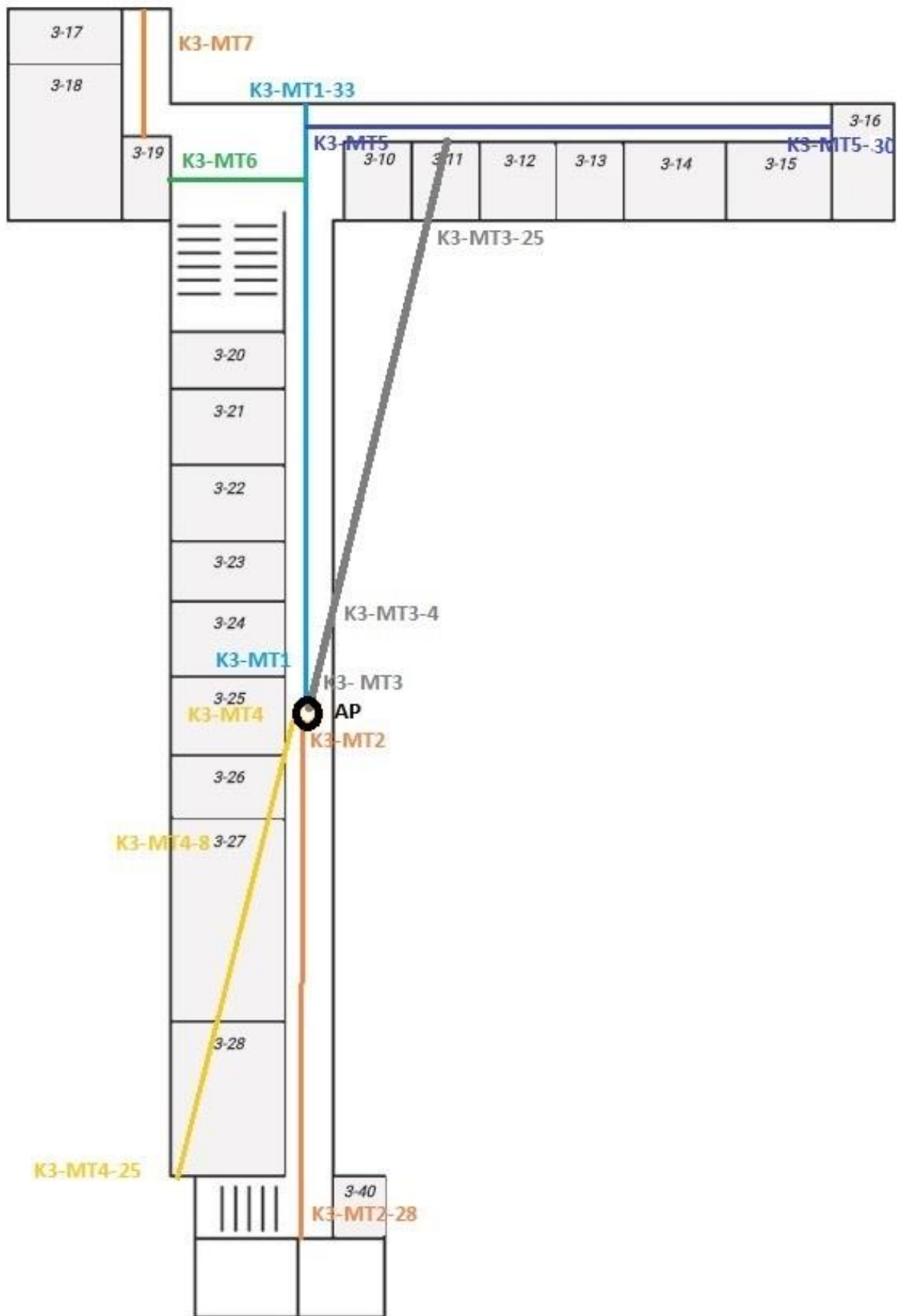
Sl. 4.2. Tlocrt nultog kata (prizemlja) sa ucrtanim pravcima mjerenja (linije označene sa: K0-MT1, K0-MT2, K0-MT3) i položajem pristupne točke (AP)



Sl. 4.3. Tlocrt prvog kata sa ucrtanim pravcima mjerenja (linije označene sa: K1-MT1, K1-MT2, K1-MT3, K1-MT4) i položajem pristupnih točki (AP)



Sl. 4.4. Tlocrt drugog kata sa ucrtanim pravcima mjerenja (linije označene sa: K2-MT1, K2-MT2, K2-MT3, K2-MT4) i početnim položajem mjerenja



Sl. 4.5. Tlocrt trećeg kata sa ucrtanim pravcima mjerenja (linije označene sa: K3-MT1, K3-MT2, K3-MT3, K3-MT4, K3-MT5, K3-MT6, K3-MT7) i položajem pristupne točke (AP)

4.3. Rezultati mjerenja

Rezultati mjerenja su prikazani tablično (Tab.4.1., 4.2., 4.3., 4.4.) i dijagramima prikazanim na slikama (Sl. 4.6., 4.7., 4.8., 4.9.). Unutar tablica različitim nijansama sive boje su prikazane točke ispred i iza zida ukoliko se u tom pravcu mjerenja nailazi na zidove. Sadržaj tablice se sastoji od 'd[m]' što predstavlja određenu udaljenost od pristupne točke, te izmjerenim snagama signala u određenim pravcima mjerenja KX-MTX. Prazna polja sive boje unutar tablica su na točkama (mjernim mjestima) gdje se izvodilo mjerenje no nije se dobio nikakav rezultat odnosno signal se izgubio, dok bijela prazna polja unutar tablica označavaju da se mjerenje nije provelo. Na nultom katu pravac mjerenja K0-MT2 na jednom dijelu nailazi na stepenice te u tom dijelu ukoliko bi se vršilo mjerenje ne bi se moglo uspoređivati sa ostalim mjerenjima na tom katu jer visina mjernog uređaja (visina na kojoj se vršilo mjerenje, visina od poda do mjernog uređaja) ne bi bila 1,20 [m] nego veća. Na prvom katu pravac mjerenja K1-MT2 nailazi na prostoriju WC-DJ (kao što se vidi na tlocrtu prvog kata), te je odlučeno u toj prostoriji ne izvoditi mjerenja, nego se razmatralo samo gušenje signala koje uzrokuju dva zida te prostorije. Na trećem katu pravac mjerenja K3-MT3 nailazi na zračni (prazan) prostor u kojem nije bilo moguće provesti mjerenja.

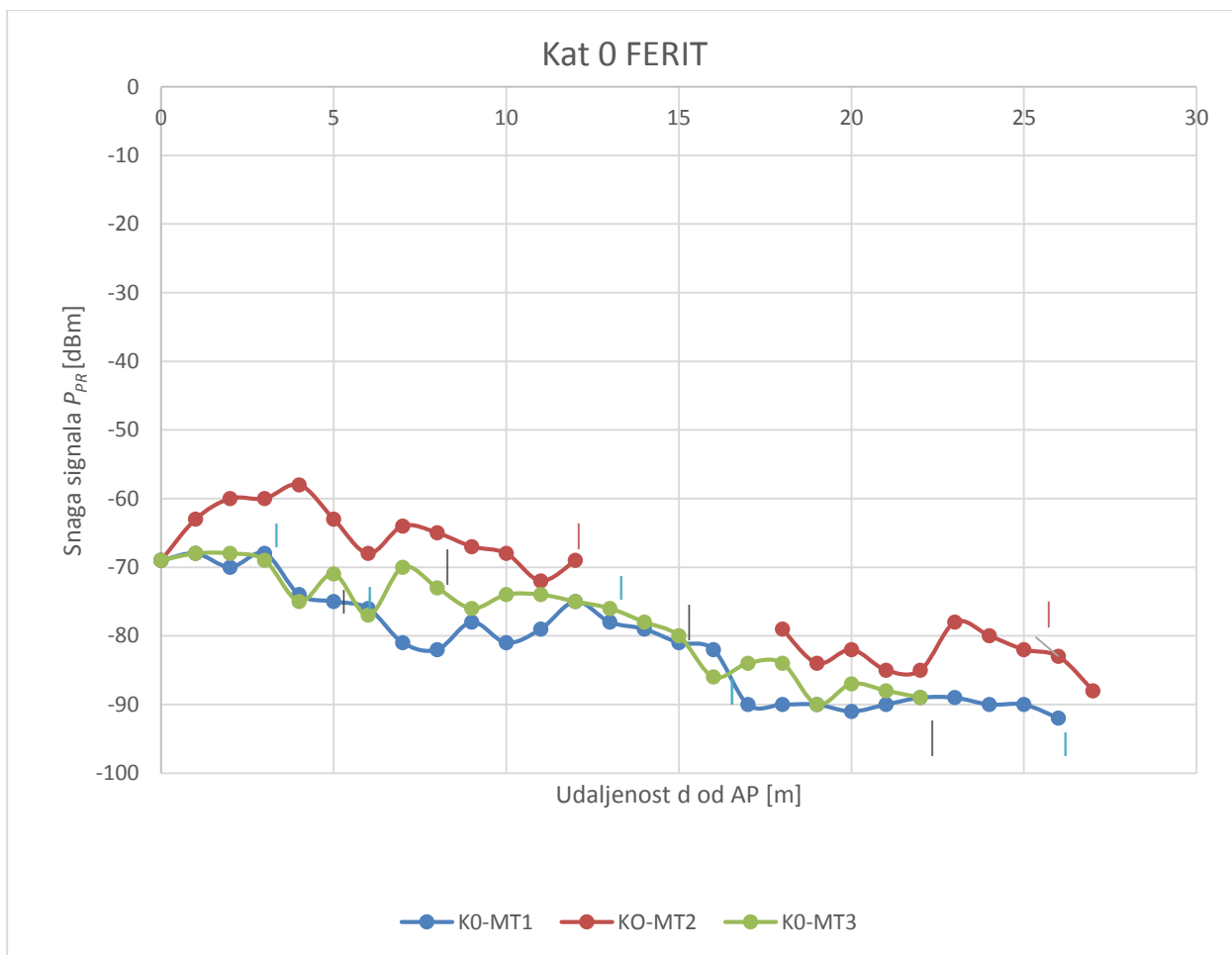
Za nulti kat rezultati su vidljivi u Tab.4.1. Prekid u stupcu mjerenja K0-MT2 je zbog toga što mjerenja nisu provedena na stepenicama jer visina mjernog uređaja na stepenicama ne bi bila ista kao visina uređaja na ostalim mjernim točkama.

Tab.4.1. Izmjerena prijemna snaga P_{PR} na nultom katu ovisno o udaljenosti od pristupne točke, te u određenim pravcima mjerenja

d[m]	K0-MT1 P_{PR} [dBm]	K0-MT2 P_{PR} [dBm]	K0-MT3 P_{PR} [dBm]
2,16	-69	-69	-69
2,38	-68	-63	-68
2,94	-70	-60	-68
3,70	-68	-60	-69
4,55	-74	-58	-75
5,45	-75	-63	-71
6,38	-76	-68	-77
7,33	-81	-64	-70
8,29	-82	-65	-73
9,26	-78	-67	-76
10,23	-81	-68	-74
11,21	-79	-72	-74
12,19	-75	-69	-75
13,18	-78		-76
14,17	-79		-78

15,15	-81		-80
16,15	-82		-86
17,14	-90		-84
18,13	-90	-79	-84
19,12	-90	-84	-90
20,12	-91	-82	-87
21,11	-90	-85	-88
22,11	-89	-85	-89
23,10	-89	-78	
24,10	-90	-80	
25,09	-90	-82	
26,09	-92	-83	
27,09		-88	

Na dijagramima je prikazana ovisnost prijemne snage P_{PR} o udaljenosti, te položaj zidova na koje nailazi signal u određenom pravcu mjerenja (zidovi su prikazani vertikalnim linijama u boji grafa). Svaki graf predstavlja jedan pravac mjerenja te je iste boje kao i odgovarajući pravac mjerenja označen na tlocrtu kata. Vidljivi prekid grafa K0-MT2 na dijagramu (Sl.4.6.) je zbog toga što mjerenja nisu provedena na stepenicama na nultom katu.



Sl. 4.6. Rezultati mjerenja prijemne snage P_{PR} na nultom katu u tri različita pravca mjerenja, sa naznačenim zidovima

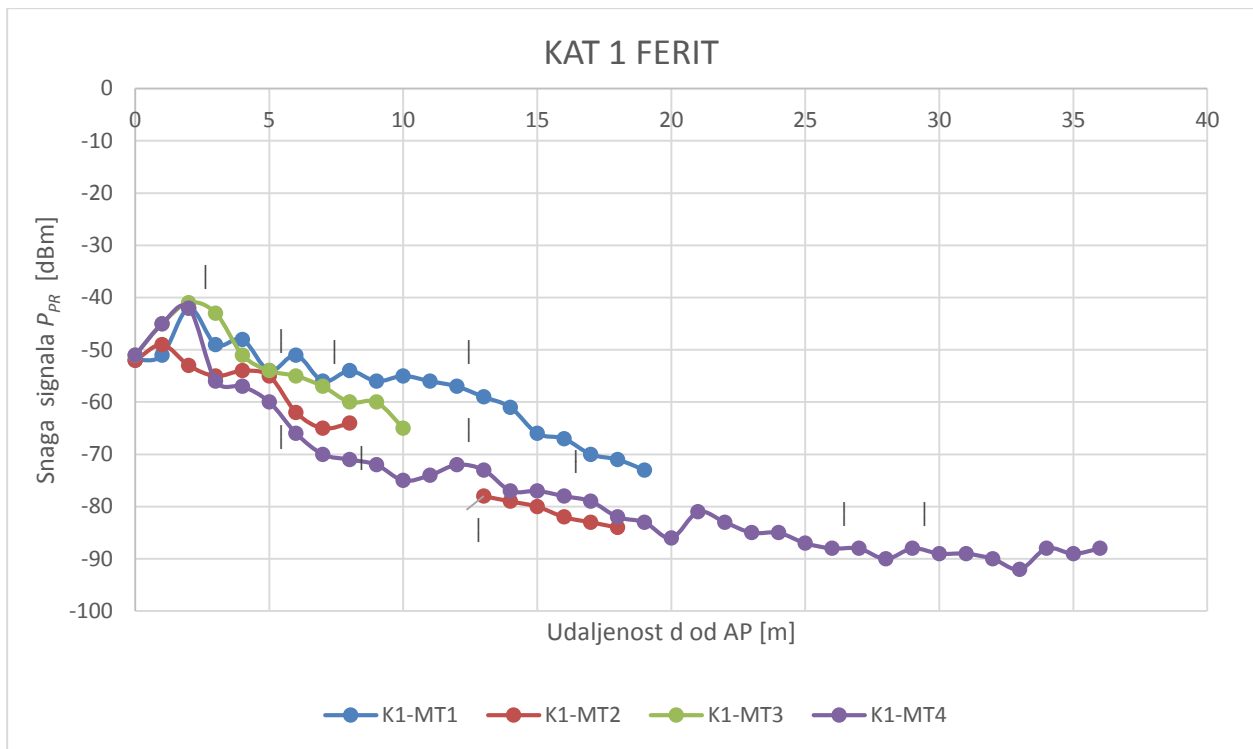
Rezultati mjerenja snage signala na prvom katu su vidljivi u Tab.4.2. Prekid u stupcu K1-MT2 je nastao iz razloga što mjerenja nisu provedena unutar WC-DJ prostorije na tom katu, nego tek u prostoriji iza WC-DJ. Može se uočiti veliko gušenje u pravcu mjerenja K1-MT4 nakon prvog zida, što se može objasniti postojanjem limenog ormara ispred tog zida.

Tab.4.2. Izmjerena prijemna snaga P_{PR} na prvom katu ovisno o udaljenosti od pristupne točke, te u određenim pravcima mjerenja

d[m]	K1-MT1 P_{PR} [dBm]	K1-MT2 P_{PR} [dBm]	K1-MT3 P_{PR} [dBm]	K1-MT4 P_{PR} [dBm]
2,16	-52	-52	-51	-51
2,38	-51	-49	-45	-45
2,94	-42	-53	-41	-42
3,70	-49	-55	-43	-56
4,55	-48	-54	-51	-57
5,45	-54	-55	-54	-60
6,38	-51	-62	-55	-66
7,33	-56	-65	-57	-70

8,29	-54	-64	-60	-71
9,26	-56		-60	-72
10,23	-55		-65	-75
11,21	-56			-74
12,19	-57			-72
13,18	-59	-78		-73
14,17	-61	-79		-77
15,15	-66	-80		-77
16,15	-67	-82		-78
17,14	-70	-83		-79
18,13	-71	-84		-82
19,12	-73			-83
20,12				-86
21,11				-81
22,11				-83
23,10				-85
24,10				-85
25,09				-87
26,09				-88
27,09				-88
28,08				-90
29,08				-88
30,08				-89
31,08				-89
32,07				-90
33,07				-92
34,07				-88
35,07				-89
36,06				-88
37,06				-89
38,06				-90
39,06				-91

Vidljivi prekid grafa K1-MT2 na dijagramu (Sl.4.7.) je zbog toga što mjerenja nisu vršena unutar prostorije WC-DJ na tom katu.



Sl. 4.7. Rezultati mjerenja prijemne snage P_{PR} na prvom katu u tri različita pravca mjerenja, sa naznačenim zidovima

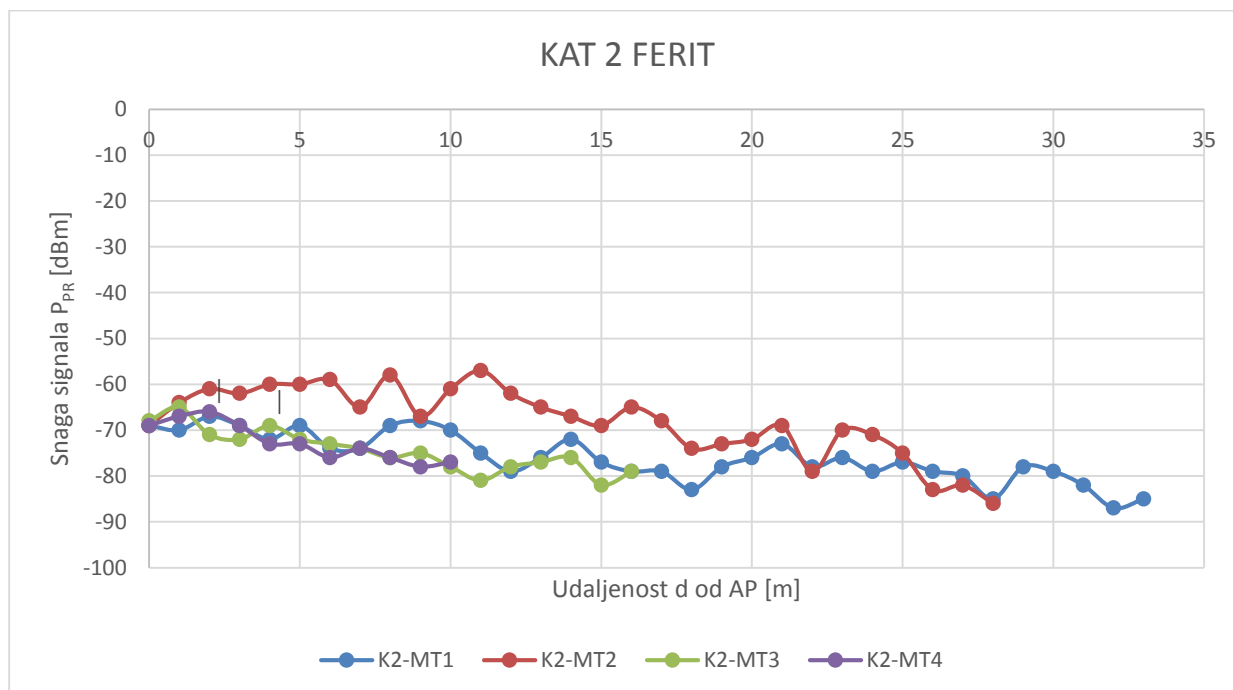
Rezultati mjerenja na drugom katu snage signala koju odašilje pristupna točka sa trećeg kata prikazani su u Tab.4.3.

Tab.4.3. Izmjerena prijemna snaga P_{PR} na drugom katu ovisno o udaljenosti od pristupne točke, te u određenim pravcima mjerenja

d[m]	K2-MT1 P_{PR} [dBm]	K2-MT2 P_{PR} [dBm]	K2-MT3 P_{PR} [dBm]	K2-MT4 P_{PR} [dBm]
6,10	-69	-69	-68	-69
6,18	-70	-64	-65	-67
6,42	-67	-61	-71	-66
6,80	-69	-62	-72	-69
7,29	-72	-60	-69	-73
7,89	-69	-60	-72	-73
8,56	-74	-59	-73	-76
9,28	-74	-65	-74	-74
10,06	-69	-58	-76	-76
10,87	-68	-67	-75	-78
11,71	-70	-61	-78	-77
12,58	-75	-57	-81	
13,46	-79	-62	-78	

14,36	-76	-65	-77	
15,27	-72	-67	-76	
16,19	-77	-69	-82	
17,12	-79	-65	-79	
18,06	-79	-68		
19,01	-83	-74		
19,96	-78	-73		
20,91	-76	-72		
21,87	-73	-69		
22,83	-78	-79		
23,80	-76	-70		
24,76	-79	-71		
25,73	-77	-75		
26,71	-79	-83		
27,68	-80	-82		
28,66	-85	-86		
29,63	-78			
30,61	-79			
31,59	-82			
32,58	-87			
33,56	-85			

Na dijagramu (Sl.4.8.) prikazani su grafički rezultati mjerenja na drugom katu te označeni zidovi u određenom pravcu.



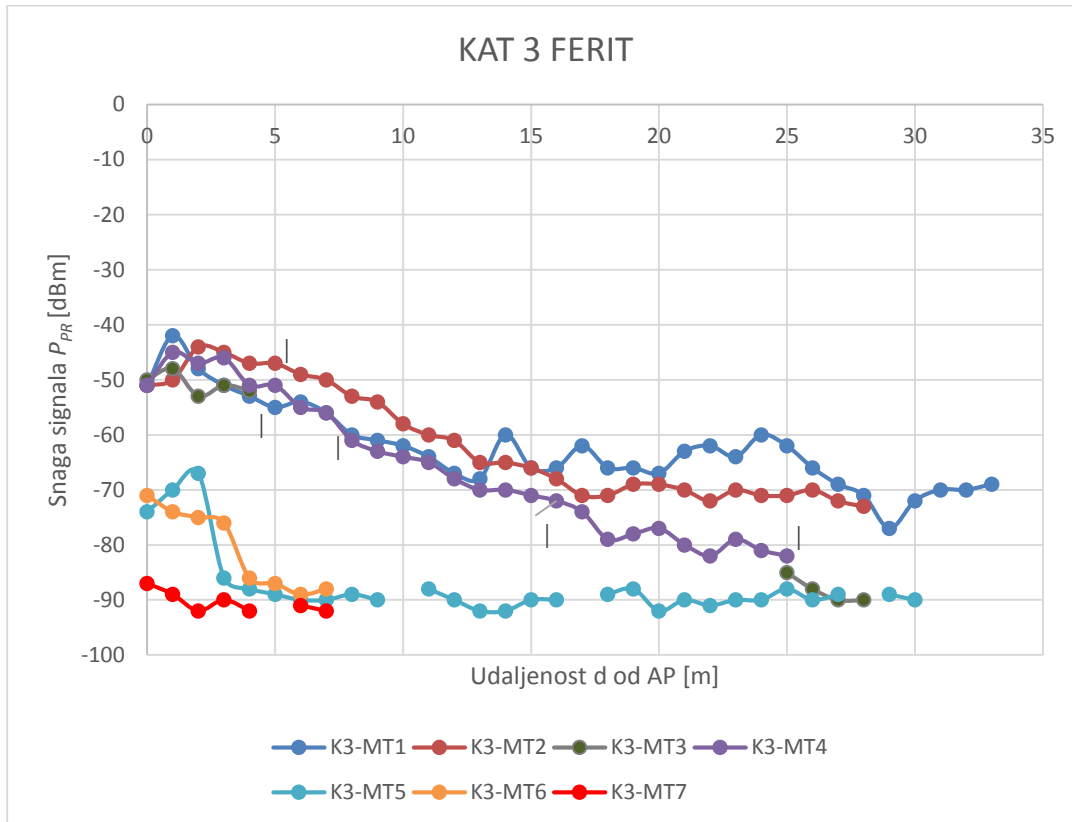
Sl. 4.8. Rezultati mjerenja prijemne snage P_{PR} na drugom katu u četiri različita pravca mjerenja, sa naznačenim zidovima

Rezultati mjerenja snage signala na trećem katu prikazani su u Tab.4.4. Bijele praznine unutar stupca K3-MT3 su nastale zbog toga što se u tom pravcu mjerenja nailazi na zračni (prazan) prostor u kojem nije bilo moguće vršiti mjerenja, dok sive praznine unutar tablice označavaju točke u kojima se signal izgubio.

Tab.4.4. Izmjerena prijemna snaga P_{PR} na trećem katu ovisno o udaljenosti od pristupne točke, te u određenim pravcima mjerenja

dMT1,2,3,4(m)	K3-MTY P_{PR} [dBm]				dMT5,6(m)	K3-MTY P_{PR} [dBm]			
	K3-MT1	K3-MT2	K3-MT3	K3-MT4		K3-MT5	K3-MT6	dMT7(m)	K3-MT7
2,16	-51	-51	-50	-51	30,08	-74	-71	30,88	-87
2,38	-42	-50	-48	-45	30,09	-70	-74	30,89	-89
2,94	-48	-44	-53	-47	30,14	-67	-75	30,94	-92
3,70	-51	-45	-51	-46	30,23	-86	-76	31,02	-90
4,55	-53	-47	-52	-51	30,34	-88	-86	31,13	-92
5,45	-55	-47		-51	30,49	-89	-87	31,28	
6,38	-54	-49		-55	30,67	-90	-89	31,45	-91
7,33	-56	-50		-56	30,88	-90	-88	31,66	-92
8,29	-60	-53		-61	31,12	-89			
9,26	-61	-54		-63	31,40	-90			
10,23	-62	-58		-64	31,70				
11,21	-64	-60		-65	32,03	-88			
12,19	-67	-61		-68	32,38	-90			
13,18	-68	-65		-70	32,77	-92			
14,17	-60	-65		-70	33,18	-92			
15,15	-66	-66		-71	33,61	-90			
16,15	-66	-68		-72	34,07	-90			
17,14	-62	-71		-74	34,55				
18,13	-66	-71		-79	35,05	-89			
19,12	-66	-69		-78	35,58	-88			
20,12	-67	-69		-77	36,12	-92			
21,11	-63	-70		-80	36,68	-90			
22,11	-62	-72		-82	37,26	-91			
23,10	-64	-70		-79	37,86	-90			
24,10	-60	-71		-81	38,48	-90			
25,09	-62	-71	-85	-82	39,11	-88			
26,09	-66	-70	-88		39,76	-90			
27,09	-69	-72	-90		40,42	-89			
28,08	-71	-73	-90		41,09				
29,08	-77				41,78	-89			
30,08	-72				42,48	-90			
31,08	-70								
32,07	-70								
33,07	-69								

Na dijagramu (Sl.4.9.) prikazani su grafički rezultati mjerenja na trećem katu. Prekid na grafu K3-MT3 je nastao zbog toga što u tom pravcu mjerenja se nailazi na prazan (zračni prostor). Prekidi na ostalim grafovima su iz razloga što se u nekim pravcima mjerenja i na određenim udaljenostima izgubio signal.



Sl. 4.9. Rezultati mjerenja prijemne snage P_{PR} na trećem katu u različitim pravcima mjerenja, sa naznačenim zidovima

5. PRORAČUN DOMETA SIGNALA PRISTUPNIH TOČAKA

Dometa signala pristupnih točki važan je parametar pri projektiranju WLAN sustava za određenu zgradu. Dometa će ovisiti o parametrima pristupnih točaka, ali i o karakteristikama zgrade. Za proračun dometa u zgradi FERIT-a napravljeni su modeli propagacije na temelju provedenih mjerenja. Nadalje, na temelju izračunatih dometa i karakteristika pristupnih točki predložen je novi raspored pristupnih točaka koji bi osigurao pokrivanje cijelog prostora signalom zadovoljavajuće snage.

5.1. Karakteristike pristupne točke

Pristupne točke koje se koriste u zgradi FERIT-a su tipa „Cisco AIR-AP1131AG-E-K9“. Slovo E u nazivu pristupne točke označava regulacijsko područje, osim E (ETSI) može biti: A (FCC), C (Kina), I (Izrael), J (Japan), K (Koreja), N (Sjeverna Amerika), P (Japan2), S (Singapur), T (Tajvan). Neke od karakteristika pristupne točke korištene u zgradi ETFOS-a su prikazane su u Tab.5.1. [5].

Tab.5.1. Karakteristike Cisco AIR- AP1131AG-E-K9

Podržane brzine	802.11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s 802.11g: 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s		
Mrežni standardi	IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g		
Frekvencijski pojas i radni kanali	ETSI: 2.412-2.472 GHz; 13 kanala 5.15-5.725 GHz, 8 kanala		
Osjetljivost prijemnika	802.11a: 6 Mb/s: -87 dBm 9 Mb/s: -86 dBm 12 Mb/s: -85 dBm 18 Mb/s: -84 dBm 24 Mb/s: -80 dBm 36 Mb/s: -78 dBm 48 Mb/s: -73 dBm 54 Mb/s: -71 dBm	802.11g: 1 Mb/s: -93 dBm 2 Mb/s: -91 dBm 5.5 Mb/s: -88 dBm 6 Mb/s: -86 dBm 9 Mb/s: -85 dBm 11 Mb/s: -85 dBm 12 Mb/s: -84 dBm 18 Mb/s: -83 dBm 24 Mb/s: -79 dBm 36 Mb/s: -77 dBm 48 Mb/s: -72 dBm 54 Mb/s: -70 dBm	
Dostupna snaga odašiljača	802.11a:	802.11b:	802.11g:

	<p>OFDM:</p> <p>17 dBm (50 mW)</p> <p>15 dBm (30 mW)</p> <p>14 dBm (25 mW)</p> <p>11 dBm (12 mW)</p> <p>8 dBm (6 mW)</p> <p>5 dBm (3 mW)</p> <p>2 dBm (2 mW)</p> <p>-1 dBm (1 mW)</p>	<p>CCK:</p> <p>20dBm(100 mW)</p> <p>17 dBm (30 mW)</p> <p>14 dBm (25 mW)</p> <p>11 dBm (12 mW)</p> <p>8 dBm (6 mW)</p> <p>5 dBm (3 mW)</p> <p>2 dBm (2 mW)</p> <p>-1 dBm (1 mW)</p>	<p>OFDM:</p> <p>17 dBm (50 mW)</p> <p>14 dBm (25 mW)</p> <p>11 dBm (12 mW)</p> <p>8 dBm (6 mW)</p> <p>5 dBm (3 mW)</p> <p>2 dBm (2 mW)</p> <p>-1 dBm (1 mW)</p>
Antene	<p>2.4 GHz:</p> <p>Dobitak 3 dBi</p> <p>Širina horizontalnog zračenja antene 360°</p>	<p>5 GHz:</p> <p>Dobitak 4.5 dBi</p> <p>Širina horizontalnog zračenja antene 360°</p>	
Sigurnost	<p>-Autorizacija : WPA, WPA2 (802.11I), Cisco TKIP, MIC, IEEE 802.11 WEP kodovi od 40 bita ili 128 bita</p> <p>-802.1X EAP klase: EAP sa EAP-FAST, PEAP-GTC, PEAP-MSCHAP, EAP-TLS, EAP-TTLS, EAP-SIM</p> <p>-zaštitno kodiranje: AES-CCMP (WPA2), TKIP (WPA), Cisco TKIP, WPA TKIP, IEEE 802.11 WEP kodovi od 40 bita ili 128 bita</p>		
Statusne LED lampice	Pokazuju operacijsko stanje, pogreške, rad interneta		
Memorija	32 MB RAM, 16MB FLASH		
Dimenzija i masa uređaja	19.1 x 19.1 x 3.3 cm i 0,67 kg		

5.2. Modeli prostiranja signala u zgradi FERIT-a

Modeli prostiranja signala u zgradi FERIT-a su izrađeni na osnovu dobivenih mjerenja. Stvorena su tri modela: model prostiranja signala kroz hodnik, model prostiranja signala kroz prostorije i model prostiranja signala pristupne točke sa kata iznad. Za svaki model su prvo napravljena tri pod-modela:

- pod-model M1 model linearne ovisnosti snage signala o udaljenosti

$$y=a \cdot d + l,$$

- pod-model M2 model ovisnosti o logaritmu udaljenosti

$$y=a \cdot 10 \log d + l$$

- pod-model M3 model prostiranja signala u slobodnom prostoru

$$y=20 \log d + K.$$

Koeficijenti jednadžbi za pod-modele M1 i M2 dobiveni su kao koeficijenti pravaca koji imaju najmanje srednje kvadratno odstupanje u odnosu na izmjerene vrijednosti. U pod-modelu M3 parametar K je odabran tako da se modelom postigne najmanje odstupanje u odnosu na izmjerene vrijednosti. Za određivanje koeficijenata ovih pravaca korištene su funkcije u programu MS Excel. Prostor u kojem je provedeno mjerenje može se po karakteristikama propagacije vala grubo podijeliti na prostor gdje postoji direktna udaljenost odašiljača (hodnik na trećem katu), prostor s pregradnim zidovima (propagacija kroz prostorije) te prostor pokriven signalom pristupne točke smještene na kat iznad kata na kojem se provode mjerenja (hodnik na drugom katu).

5.2.1. Model prostiranja signala kroz hodnik

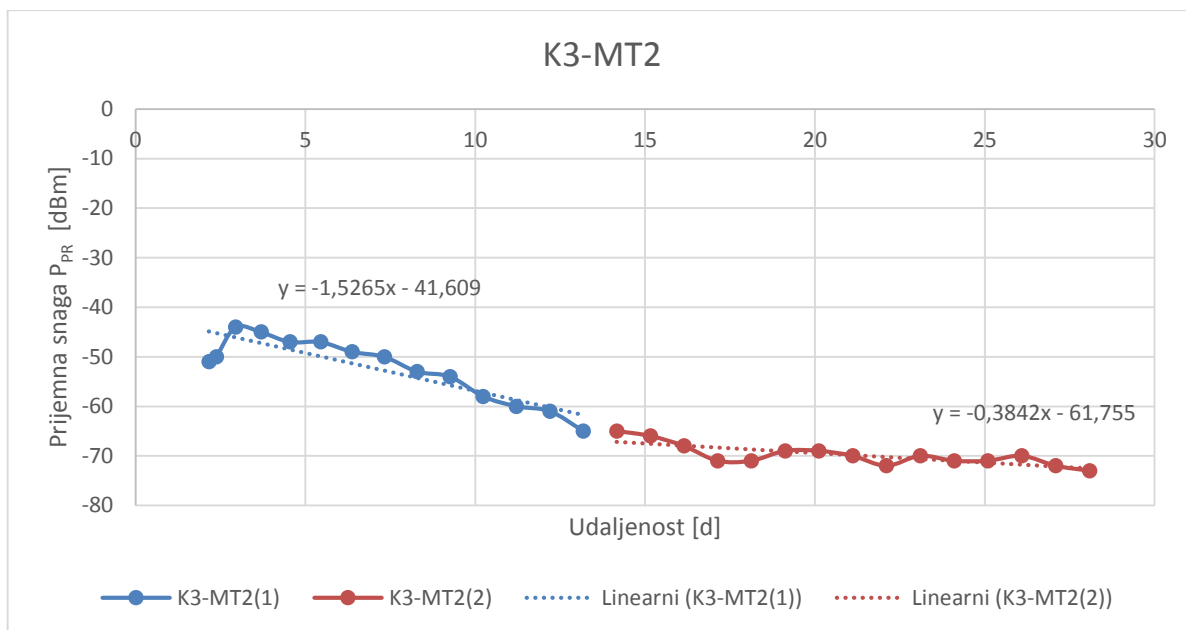
Kod prostiranja signala kroz hodnik na trećem katu postojala je direktna vidljivost odašiljača i prijemnika, a može se pretpostaviti da postoje i refleksije od zidova, poda i stropa. Prilikom izrade modela izračunati su koeficijenti tri pod-modela (M1,M2,M3) na temelju rezultata mjerenja K3-MT2. S obzirom da rezultati mjerenja pokazuju dva različita nagiba do i od udaljenosti 13,18 [m], koeficijenti modela su posebno izračunati za prvi dio mjernih točaka (označeno kao K3-MT2(1)) i drugi dio točaka (označenih kao K3-MT2(2)). Samim tim i prilikom proračuna odstupanja na osnovu jednadžbi pravaca, vrijednosti do prve polovice podataka su vezane za jednadžbu prvog pravca, dok je druga polovica podataka vezana za jednadžbu drugog pravca. Pravci promjene snage ovisno o udaljenosti prikazani su na dijagramima isprekidanom crtom (Sl.5.1., 5.2.) sa naznačenim jednadžbama na osnovu kojih su rađeni proračuni za pojedini pod-model u ovisnosti o linearnoj udaljenosti d , te logaritmu udaljenosti $10 \log d$ prikazano u tablici (Tab.5.2.).

Tab.5.2. Rezultati mjerenja prijemne snage P_{PR} u hodniku na 3. katu (K3-MT2)

d[m]	K3-MT2(1) P_{PR} [dBm]	
2,16	-51	
2,38	-50	
2,94	-44	
3,70	-45	
4,55	-47	
5,45	-47	
6,38	-49	
7,33	-50	
8,29	-53	
9,26	-54	
10,23	-58	
11,21	-60	
12,19	-61	
13,18	-65	K3-MT2(2) P_{PR} [dBm]
14,17		-65
15,15		-66
16,15		-68
17,14		-71
18,13		-71
19,12		-69
20,12		-69
21,11		-70
22,11		-72
23,10		-70
24,10		-71
25,09		-71
26,09		-70
27,09		-72
28,08		-73

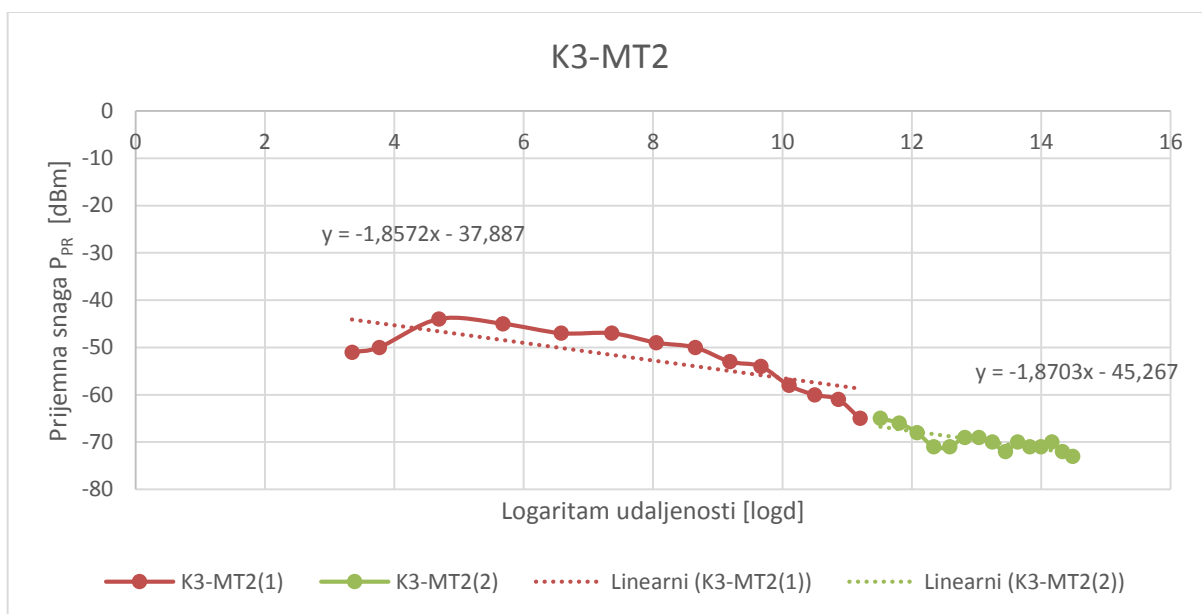
Na temelju koeficijenata odgovarajućih pravaca prikazanih na Sl. 5.1. može se napisati izraz za pod-model M1 prostiranja signala kroz hodnik.

$$P_{M1}(d)= \begin{cases} -1,53d - 41,61 \text{ [dBm]} , d \leq 13,18 \text{ m} \\ -0,38d - 61,76 \text{ [dBm]} , d > 13,18 \text{ m} \end{cases} \quad (5-1)$$



Sl.5.1. Izmjerena prijemna snaga signala P_{PR} u odnosu na linearnu udaljenost od pristupne točke, te odgovarajući pravci nad tim vrijednostima (pod-model M1)

Na temelju koeficijenata pravaca prikazanih na Sl. 5.2. može se napisati izraz za model M2 propagacije signala u hodniku.



Sl.5.2. Izmjerena prijemna snaga signala P_{PR} u odnosu na logaritam udaljenosti od pristupne točke, te odgovarajući pravci nad tim vrijednostima (pod-model M2)

$$P_{M2}(d) = \begin{cases} -18,6 \log d - 37,89 \text{ [dBm]}, & d \leq 13,18 \text{ m} \\ -18,7 \log d - 45,28 \text{ [dBm]}, & d > 13,18 \text{ m} \end{cases} \quad (5-2)$$

U Tab.5.3. su dane vrijednosti promjene snage izračunate prema modelima M1, M2, M3, te apsolutne razlike izračunatih i izmjerenih vrijednosti.

Tab.5.3. Prikaz izračunatih vrijednosti prijemne snage P_{Mx} procijenjene primjenom pod-modela M1, M2, M3, te njihovih apsolutnih razlika od izmjerene vrijednosti P_{PR}

P_{PR} K3- MT2 [dBm]	$P_{M1}(\text{fit1})$ [dBm]	$P_{M1}(\text{fit2})$ [dBm]	$P_{M2}(\text{fit1})$ [dBm]	$P_{M2}(\text{fit2})$ [dBm]	P_{M3} [dBm]	d[m]	$ P_{PR}-P_{M1} $ [dB]	$ P_{PR}-P_{M2} $ [dB]	$ P_{PR}-P_{M3} $ [dB]
-51	-44,91		-44,10		-51,69	2,16	6,09	6,90	0,69
-50	-45,24		-44,88		-52,53	2,38	4,76	5,12	2,53
-44	-46,10		-46,60		-54,38	2,94	2,10	2,60	10,38
-45	-47,25		-48,43		-56,36	3,70	2,25	3,43	11,36
-47	-48,55		-50,10		-58,15	4,55	1,55	3,10	11,15
-47	-49,92		-51,56		-59,72	5,45	2,92	4,56	12,72
-49	-51,34		-52,83		-61,09	6,38	2,34	3,83	12,09
-50	-52,79		-53,95		-62,30	7,33	2,79	3,95	12,30
-53	-54,26		-54,94		-63,37	8,29	1,26	1,94	10,37
-54	-55,74		-55,84		-64,33	9,26	1,74	1,84	10,33
-58	-57,23		-56,64		-65,20	10,23	0,77	1,36	7,20
-60	-58,72		-57,38		-65,99	11,21	1,28	2,62	5,99
-61	-60,22		-58,06		-66,72	12,19	0,78	2,94	5,72
-65	-61,73		-58,68		-67,40	13,18	3,27	6,32	2,40
-65		-67,20		-66,80	-68,02	14,17	2,20	7,93	3,02
-66		-67,58		-67,35	-68,61	15,15	1,58	7,77	2,61
-68		-67,96		-67,86	-69,16	16,15	0,04	7,64	1,16
-71		-68,34		-68,35	-69,68	17,14	2,66	7,54	1,32
-71		-68,72		-68,80	-70,17	18,13	2,28	7,46	0,83
-69		-69,10		-69,24	-70,63	19,12	0,10	7,41	1,63
-69		-69,48		-69,65	-71,07	20,12	0,48	7,39	2,07
-70		-69,87		-70,04	-71,49	21,11	0,13	7,38	1,49
-72		-70,25		-70,41	-71,89	22,11	1,75	7,39	0,11
-70		-70,63		-70,77	-72,27	23,10	0,63	7,42	2,27
-71		-71,01		-71,11	-72,64	24,10	0,01	7,46	1,64
-71		-71,40		-71,44	-72,99	25,09	0,40	7,52	1,99
-70		-71,78		-71,76	-73,33	26,09	1,78	7,58	3,33
-72		-72,16		-72,06	-73,65	27,09	0,16	7,67	1,65
-73		-72,54		-72,36	-73,97	28,08	0,46	7,76	0,97
Prosječno odstupanje							1,68	5,65	4,87

Standardna devijacija	1,43	2,30	4,37
-----------------------	------	------	------

Najmanje prosječno odstupanje od izmjerenih vrijednosti se postiže pod-modelom M1 (označeno crvenom bojom), odnosno s ovisnosti prijemne snage signala o linearnoj udaljenosti (Tab.5.3). Na osnovu jednadžbi pod-modela M1 su napravljeni proračuni dometa za model prostiranja signala kroz hodnik za različite osjetljivosti prijemnika (1Mb/s: $P_{\min}=-93\text{dBm}$; 11Mb/s: $P_{\min}=-85\text{dBm}$; 54Mb/s: $P_{\min}=-70\text{dBm}$) uzete iz podataka o pristupnoj točki korištenoj u FERIT WLAN mreži (Tab.5.1.). Domet signala je najveća udaljenost kod koje je prijemna snaga veća ili jednaka osjetljivosti prijemnika, odnosno vrijedi $P_{PR}(d) = P_{\min} \Rightarrow d = d_{\max}$. Primjenom izraza (5-1) dobiju se jednadžbe za proračun dometa signala modela prostiranja signala kroz hodnik.

$$\begin{aligned}
 & d \leq 13,18 & P_{\min} &= -1,53d_{\max} - 41,61 \\
 & & d_{\max} &= \frac{P_{\min} + 41,61}{-1,53}
 \end{aligned} \tag{5-3}$$

$$\begin{aligned}
 & d > 13,18 & P_{\min} &= -0,38d_{\max} - 61,76 \\
 & & d_{\max} &= \frac{P_{\min} + 61,76}{-0,38}
 \end{aligned} \tag{5-4}$$

Uvrštavanjem u relacije (5-3) i (5-4) za maksimalni domet različitih osjetljivosti prijemnika za različite brzine dobiju se dometi signala kod prostiranja kroz hodnik prikazani u Tab.5.4. Kao što je vidljivo u tablici za najveću brzinu 54Mb/s za koju je osjetljivost prijemnika -70dBm domet je 21,46 m. S obzirom da je udaljenost pristupne točke od najdaljih točaka u hodniku kojima je potrebno osigurati pokrivenost signala veća od 21 m, slijedi da se ova brzina ne može postići u svim dijelovima hodnika.

Tab.5.4. Izračunati maksimalni dometi na osnovu modela prostiranja signala kroz hodnik

P_{pr} [dBm]	d_{\max} [m]
-93	81,32
-85	60,50
-70	21,46

5.2.2. Model prostiranja signala kroz prostorije

S obzirom da zidovi dodatno guše signal, za propagaciju signala kroz prostorije izračunato je prosječno gušenje kroz zidove na nultom i prvom katu. Gušenje kroz pojedini zid procijenjeno je

kao razlika između izmjerene prijemne snage u mjernim točkama neposredno prije i poslije zida. U Tab.5.5 dana su gušenja kroz pojedine zidove te prosječno gušenje. U pravcu mjerenja K1-MT4 uzeta su mjerenja tek nakon prostorije 1.21 jer se između te prostorije i prostorije 1.22 nalazi osim zida i metalni ormar koji stvaraju veliko gušenje te ta mjerenja nisu mjerodavna pri proračunu za gušenje signala prolaskom kroz zid.

Tab.5.5. Gušenje signala kod prolaska kroz zid

K1-MT1	K1-MT2	K1-MT3	K1-MT4	K0-MT1	K0-MT2	K0-MT3	
-2	-7	-3		-6		-6	
			-6	-5		7	
			-4	-1		-2	
			-1	-8			
			0				
			-1				
						Prosječno gušenje [dB]	-3

Gušenje kroz pojedini zid proračunato je kao razlika signala u mjernim točkama ispred i iza zida. Ova gušenja se kreću od 0 do -8 dB, ovise o vrsti zida i kutu pod kojim val prolazi kroz zid. U daljim proračunima koristi se prosječna vrijednost gušenja snage signala koja iznosi -3dB. Za ostvarivanje modela propagacije kroz prostorije na pod-modele M1, M2 , M3 treba se dodati gušenje kroz zidove što se može iskazati relacijom (5-5) :

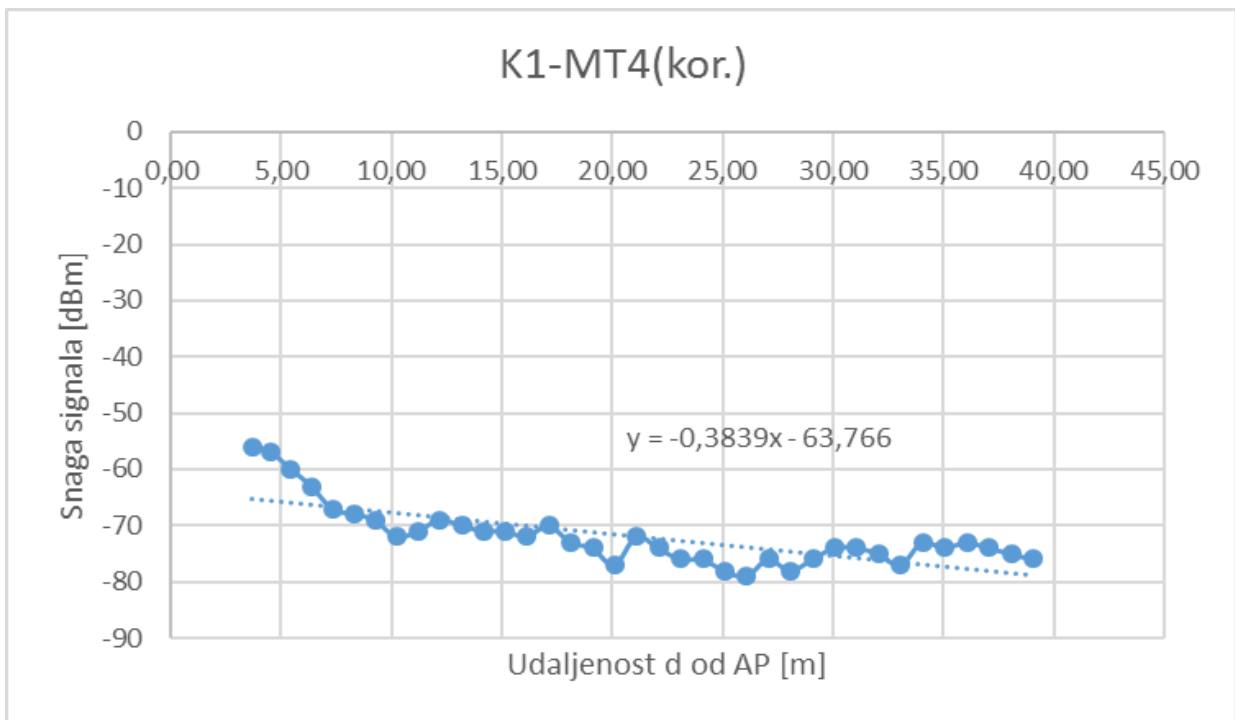
$$P_{PR}(d) = P_{MX} - N \cdot 3 \quad (5-5)$$

Gdje P_{MX} predstavlja snagu na prijemu predviđenog pod-modela M_x (M1, M2, M3), N broj zidova do mjerene točke na udaljenosti d, broj 3 predstavlja prosječno gušenje dobiveno u Tab.5.5. Koeficijenti pod-modela M1 i M2 dobiveni su na način da je izmjerenim vrijednostima dodano po 3dB na mjestu svakog zida. Ovako korigirani iznosi snaga signala (Tab.5.6.) korišteni su za proračun koeficijenta odgovarajućih pravaca. Za ovaj proračun korišteni su rezultati mjerenja K1-MT4. Na temelju korigiranih vrijednosti u pravcu mjerenja K1-MT4 (Tab.5.6.) stvorena su dva dijagrama ovisnosti snage o linearnoj (Sl. 5.3.) i logaritmu udaljenosti (Sl.5.4.). Prilikom izrade prva dva pod-modela (M1 i M2), stvoreni su pravci (na dijagramima označeni isprekidanom linijom) na mjerene rezultate, te na osnovu jednadžbi tih pravaca provedeni su izračuni vrijednosti signala i određenih odstupanja određenog pod-modela od izmjerenih podataka. Vrijednosti za treći

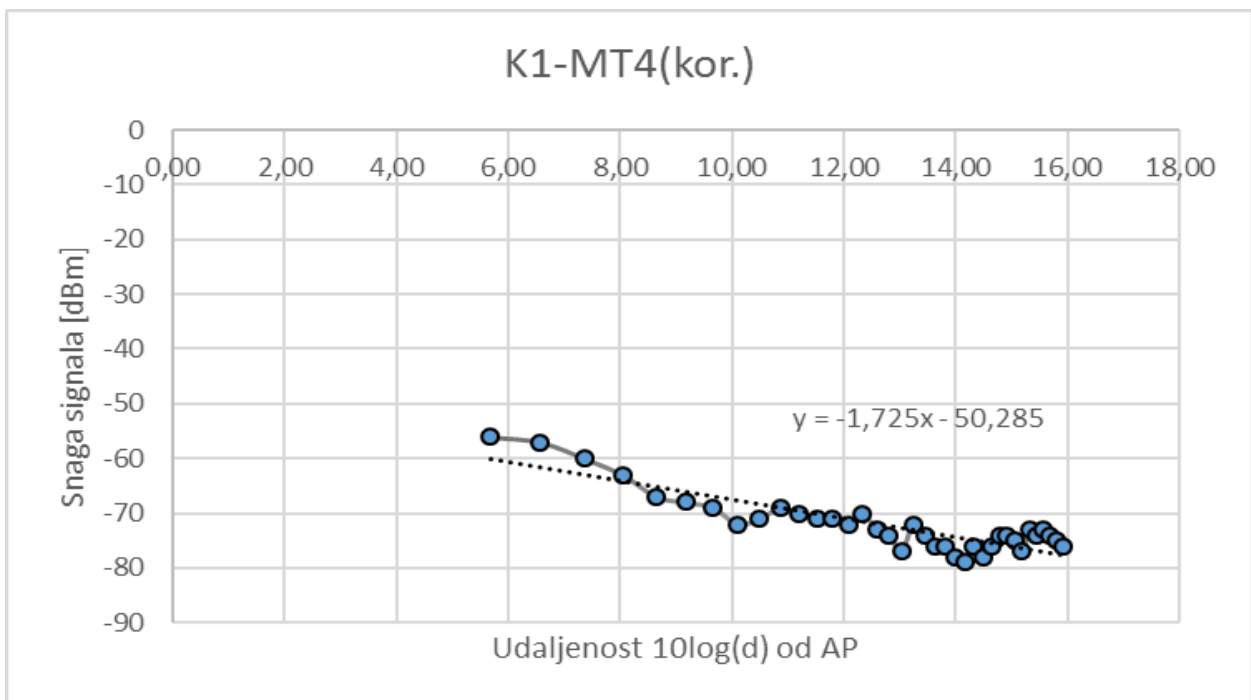
pod-model (M3) su izračunate uvrštavanjem u njegovu relaciju udaljenosti d i odabiranjem parametra K kako bi se dobilo najmanje odstupanje od izmjerenih rezultata.

Tab.5.6. *Korigirani iznosi snage signala*

d[m]	K1-MT4 P _{PR} [dBm]	K1-MT4 P _{PR} (kor.) [dBm]
3,70	-56	-56
4,55	-57	-57
5,45	-60	-60
6,38	-66	-63
7,33	-70	-67
8,29	-71	-68
9,26	-72	-69
10,23	-75	-72
11,21	-74	-71
12,19	-72	-69
13,18	-73	-70
14,17	-77	-71
15,15	-77	-71
16,15	-78	-72
17,14	-79	-70
18,13	-82	-73
19,12	-83	-74
20,12	-86	-77
21,11	-81	-72
22,11	-83	-74
23,10	-85	-76
24,10	-85	-76
25,09	-87	-78
26,09	-88	-79
27,09	-88	-76
28,08	-90	-78
29,08	-88	-76
30,08	-89	-74
31,08	-89	-74
32,07	-90	-75
33,07	-92	-77
34,07	-88	-73
35,07	-89	-74
36,06	-88	-73
37,06	-89	-74
38,06	-90	-75
39,06	-91	-76



Sl.5.3. Dijagram korigiranih vrijednosti snage signala u odnosu na linearnu udaljenost od pristupne točke , te odgovarajući pravac nad tim vrijednostima (M4)



Sl.5.4. Dijagram korigiranih vrijednosti snage signala u odnosu na logaritam udaljenosti od pristupne točke , te odgovarajući pravac nad tim vrijednostima (M5)

Na temelju korigiranih vrijednosti snage signala uz dodavanje gušenja kroz zidove dobiveni su sljedeći modeli propagacije:

$$P_{M4}(d) = -0,38d - 63,77 - 3 \cdot N \quad (5-6)$$

$$P_{M5}(d) = -17,25 \log d - 50,28 - 3 \cdot N \quad (5-7)$$

Uvrštavanjem u izraze (5-6) i (5-7) dobiju se modeli M4 i M5 za propagaciju kroz prostorije.

Tab.5.7. Vrijednosti dobivene primjenom modela M4 i M5 te apsolutne razlike rezultata mjerenja i vrijednosti dobivenih modelima

d(m)	P_{M4} [dBm]	P_{M5} [dBm]	K1-MT4 P_{PR} [dBm]	$ P_{PR} - P_{M4} $	$ P_{PR} - P_{M5} $
3,70	-65,19	-60,08	-56	9,19	4,08
4,55	-65,51	-61,63	-57	8,51	4,63
5,45	-65,86	-62,98	-60	5,86	2,98
6,38	-69,21	-67,16	-66	3,21	1,16
7,33	-69,58	-68,20	-70	0,42	1,80
8,29	-69,95	-69,13	-71	1,05	1,87
9,26	-70,32	-69,96	-72	1,68	2,04
10,23	-70,69	-70,71	-75	4,31	4,29
11,21	-71,07	-71,39	-74	2,93	2,61
12,19	-71,45	-72,02	-72	0,55	0,02
13,18	-71,83	-72,60	-73	1,17	0,40
14,17	-75,20	-76,14	-77	1,80	0,86
15,15	-75,58	-76,65	-77	1,42	0,35
16,15	-75,96	-77,12	-78	2,04	0,88
17,14	-79,34	-80,57	-79	0,34	1,57
18,13	-79,73	-80,99	-82	2,27	1,01
19,12	-80,11	-81,39	-83	2,89	1,61
20,12	-80,49	-81,77	-86	5,51	4,23
21,11	-80,87	-82,13	-81	0,13	1,13
22,11	-81,25	-82,48	-83	1,75	0,52
23,10	-81,63	-82,81	-85	3,37	2,19
24,10	-82,02	-83,12	-85	2,98	1,88
25,09	-82,40	-83,43	-87	4,60	3,57
26,09	-82,78	-83,72	-88	5,22	4,28
27,09	-86,16	-87,00	-88	1,84	1,00
28,08	-86,55	-87,27	-90	3,45	2,73
29,08	-86,93	-87,53	-88	1,07	0,47
30,08	-90,31	-90,78	-89	1,31	1,78
31,08	-90,70	-91,03	-89	1,70	2,03
32,07	-91,08	-91,27	-90	1,08	1,27
33,07	-91,46	-91,50	-92	0,54	0,50
34,07	-91,84	-91,72	-88	3,84	3,72
35,07	-92,23	-91,93	-89	3,23	2,93
36,06	-92,61	-92,14	-88	4,61	4,14
37,06	-92,99	-92,35	-89	3,99	3,35
38,06	-93,38	-92,55	-90	3,38	2,55

39,06	-93,76	-92,74	-91	2,76	1,74
			Prosječno odstupanje	2,86	2,11
			Standardna devijacija	2,11	1,34

U Tab.5.7. prikazana su apsolutna odstupanja pojedinog pod-modela (M4, M5) od izmjerenih vrijednosti (K1-MT4). Najmanje prosječno odstupanje 2,11 dB ima model M5 kao i najmanju standardnu devijaciju 1,34 dB. Na osnovu jednadžbe (5-7) modela (M5), napravljeni su proračuni dometa signala kroz prostorije (zidove) za tri osjetljivosti prijemnika (1Mb/s: $P_{\min}=-93\text{dBm}$; 11Mb/s: $P_{\min}=-85\text{dBm}$; 54Mb/s: $P_{\min}=-70\text{dBm}$) uzete iz podataka o pristupnoj točki korištenoj u FERIT WLAN mreži (Tab.5.1.). Snaga signala (P_{PR}) treba biti veća ili jednaka osjetljivosti prijemnika (P_{\min}), na maksimalnoj udaljenosti (d_{\max}) za ostvarivanje određene brzine prijenosa. U relaciji (5-8) prikazan je način na koji je izračunat maksimalni domet (d_{\max}) prilikom prostiranja signala kroz zidove, ovisno o različitim osjetljivostima prijemnika (P_{\min}) i broju zidova (N).

$$\begin{aligned}
 P_t &= P_{\min} \Rightarrow d = d_{\max} \\
 P_{\min} &= -17,25 \log d_{\max} - 50,28 - 3N \\
 d_{\max} &= 10^{\frac{P_{\min} + 50,28 + 3N}{-17,25}}
 \end{aligned} \tag{5-8}$$

Uvrštavanjem vrijednosti osjetljivosti prijemnika i broja zidova u relaciju (5-8) dobiju se vrijednosti prikazane Tab.5.8., gdje je : N - broj zidova, L gušenje ($N \cdot 3 \text{ [dBm]}$). Kao što je vidljivo u tablici za najveću brzinu je najmanji domet, odnosno povećanjem brzine signala ili povećanjem broja zidova smanjuje se domet signala.

Tab.5.8. Izračunate vrijednosti maksimalnog dometa na osnovu modela prostiranja signala kroz prostorije

N	L (dB)	dmax [m] ($P_{\min}=-93\text{dBm}$)	dmax [m] ($P_{\min}=-85\text{dBm}$)	dmax [m] ($P_{\min}=-70\text{dBm}$)
1	3	198,89	68,49	9,28
2	6	133,35	45,92	6,22
3	9	89,41	30,79	4,17
4	12	59,95	20,64	2,80
5	15	40,19	13,84	1,88
6	18	26,95	9,28	1,26

Na temelju rezultata proračuna može se zaključiti da se kod prostiranja signala kroz prostorije, zbog gušenja kod prolaska kroz zidove, ne može ostvariti prijenos podataka najvećom

promatranom brzinom od 54 Mb/s niti u susjednu prostoriju. S danim položajem pristupne točke na prvom katu, pokrivanje signalom najdaljih točaka moguće je jedino brzinom 1 Mb/s, a na više mjesta signal uopće nije dostupan.

5.2.3. Model prostiranja signala pristupne točke sa kata iznad

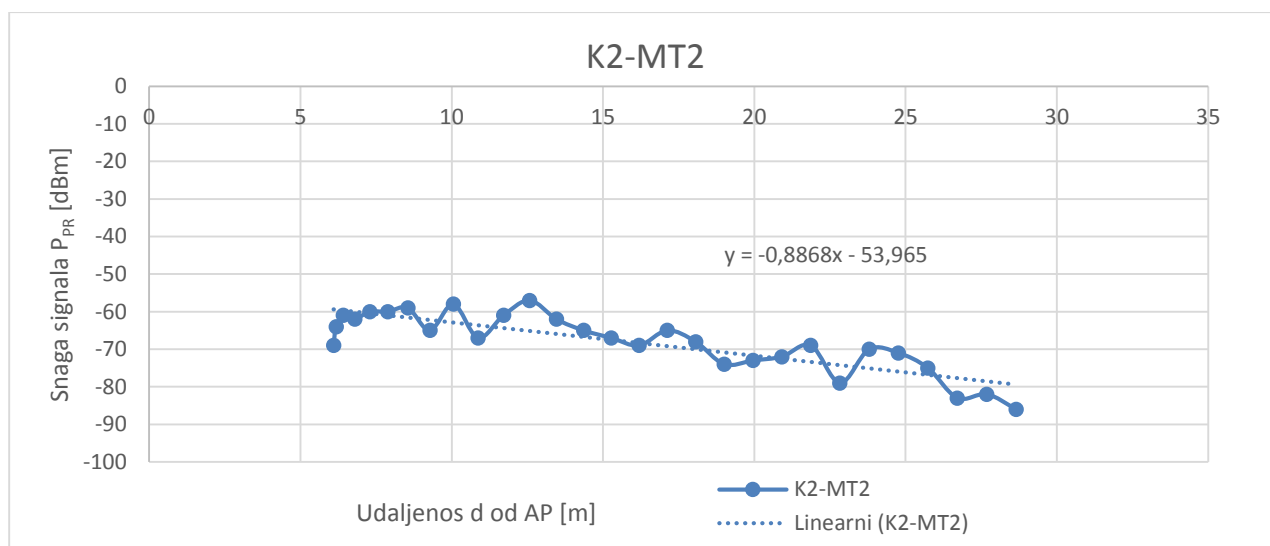
U ovom modelu uzeta su u obzir mjerenja vršena na drugom katu koja je mjerni uređaj očitavao sa pristupne točke trećeg kata. Prilikom izrade modela korištena su tri pod-modela (M1, M2, M3) te se njihovom međusobnom usporedbom odredilo koji pod-model najbolje odgovara modelu prostiranja signala pristupne točke sa kata iznad. Sva tri korištena pod-modela su kao i u prethodnom poglavlju, odnosno M1 (snaga signala u ovisnosti o linearnoj udaljenosti), M2 (snaga signala u ovisnosti o logaritamskoj udaljenosti), M3 (prostiranje signala u slobodnom prostoru). Za proračun koeficijenata za pod-modele M1, M2, M3 odabrani su rezultati mjerenja K2-MT2 kao što je dano u Tab.5.9.

Tab.5.9. Izmjerene vrijednosti prijemne snage za K2-MT2

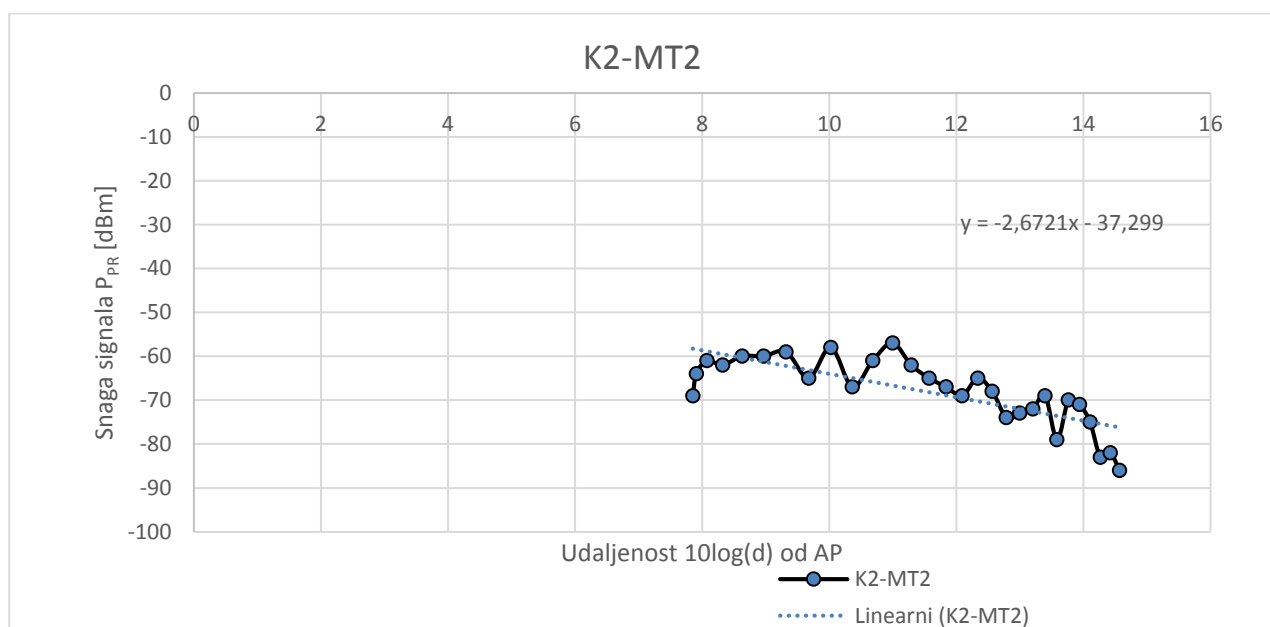
d[m]	K2-MT2 P _{PR} [dBm]
6,10	-69
6,18	-64
6,42	-61
6,80	-62
7,29	-60
7,89	-60
8,56	-59
9,28	-65
10,06	-58
10,87	-67
11,71	-61
12,58	-57
13,46	-62
14,36	-65
15,27	-67
16,19	-69
17,12	-65
18,06	-68
19,01	-74
19,96	-73
20,91	-72
21,87	-69
22,83	-79
23,80	-70

24,76	-71
25,73	-75
26,71	-83
27,68	-82
28,66	-86

Pod-modeli M1 i M2 te jednadžbe pravaca na osnovu kojih su rađeni proračuni su prikazani slikama Sl.5.5. i Sl.5.6.



Sl.5.5. Izmjerena prijemna snaga signala P_{PR} u odnosu na linearnu udaljenost od pristupne točke, te odgovarajući pravci nad tim vrijednostima (pod-model M1)



Sl.5.6. Izmjerena prijemna snaga signala P_{PR} u odnosu na logaritam udaljenosti od pristupne točke, te odgovarajući pravci nad tim vrijednostima (pod-model M2)

Na temelju koeficijenata dobivenih pravaca mogu se definirati jednadžbe modela M1 i M2 za pokrivanje hodnika signalom pristupne točke sa višeg kata.

$$P_{M1} = -0,89d - 53,96 \text{ [dBm]} \quad (5-9)$$

$$P_{M2} = -26,72 \log d - 37,3 \text{ [dBm]} \quad (5-10)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u jednadžbe pod-modela dobiveni su rezultati prikazani u Tab.5.10. te rezultati odstupanja pojedinog pod-modela od izmjerene vrijednosti.

Tab.5.10. Prikaz izračunatih vrijednosti određenih modela, te apsolutnih razlika rezultata mjerenja i vrijednosti dobivenih modelima

d[m]	K2-MT2 P _{PR} [dBm]	P _{M1} [dBm]	P _{M2} [dBm]	P _{M3} [dBm]	P _{PR} - P _{M1} [dB]	P _{PR} - P _{M2} [dB]	P _{PR} - P _{M3} [dB]
6,10	-69	-59,37	-58,28	-60,71	9,63	10,72	8,29
6,18	-64	-59,45	-58,44	-59,82	4,55	5,56	4,18
6,42	-61	-59,66	-58,88	-60,15	1,34	2,12	0,85
6,80	-62	-59,99	-59,54	-60,65	2,01	2,46	1,35
7,29	-60	-60,43	-60,36	-61,26	0,43	0,36	1,26
7,89	-60	-60,96	-61,27	-61,94	0,96	1,27	1,94
8,56	-59	-61,55	-62,21	-62,65	2,55	3,21	3,65
9,28	-65	-62,20	-63,16	-63,36	2,80	1,84	1,64
10,06	-58	-62,89	-64,09	-64,05	4,89	6,09	6,05
10,87	-67	-63,61	-64,99	-64,73	3,39	2,01	2,27
11,71	-61	-64,35	-65,86	-65,37	3,35	4,86	4,37
12,58	-57	-65,12	-66,68	-65,99	8,12	9,68	8,99
13,46	-62	-65,90	-67,47	-66,58	3,90	5,47	4,58
14,36	-65	-66,70	-68,22	-67,14	1,70	3,22	2,14
15,27	-67	-67,51	-68,93	-67,68	0,51	1,93	0,68
16,19	-69	-68,32	-69,61	-68,19	0,68	0,61	0,81
17,12	-65	-69,15	-70,26	-68,67	4,15	5,26	3,67
18,06	-68	-69,98	-70,88	-69,13	1,98	2,88	1,13
19,01	-74	-70,82	-71,47	-69,58	3,18	2,53	4,42
19,96	-73	-71,66	-72,04	-70,00	1,34	0,96	3,00
20,91	-72	-72,51	-72,58	-70,41	0,51	0,58	1,59
21,87	-69	-73,36	-73,10	-70,80	4,36	4,10	1,80
22,83	-79	-74,21	-73,60	-71,17	4,79	5,40	7,83
23,80	-70	-75,07	-74,08	-71,53	5,07	4,08	1,53
24,76	-71	-75,92	-74,54	-71,88	4,92	3,54	0,88
25,73	-75	-76,79	-74,99	-72,21	1,79	0,01	2,79
26,71	-83	-77,65	-75,42	-72,53	5,35	7,58	10,47
27,68	-82	-78,51	-75,84	-72,84	3,49	6,16	9,16
28,66	-86	-79,38	-76,24	-73,14	6,62	9,76	12,86

Prosječno odstupanje	3,39	3,94	3,94
Standardna devijacija	2,28	2,89	3,32

Kao što je dano u Tab.5.10. najmanje odstupanje od izmjerenih vrijednosti dao je pod-model M1 označeno crvenom bojom unutar tablice. Pri proračunu modela prostiranja signala sa kata iznad će biti korištena relacija (5-9). Snaga signala (P_{PR}) treba biti veća ili jednaka osjetljivosti prijemnika (P_{min}), na maksimalnoj udaljenosti (d_{max}) za ostvarivanje određene brzine prijenosa. U relaciji (5-11) prikazan je način na koji je izračunat maksimalni domet (d_{max}) prilikom prostiranja pristupne točke sa kata iznad.

$$\begin{aligned}
 P_I &= P_{min} \Rightarrow d = d_{max} \\
 P_{min} &= -0,89d_{max} - 53,96 \\
 d_{max} &= \frac{P_I + 53,96}{-0,89}
 \end{aligned}
 \tag{5-11}$$

Uvrštavanjem u relaciju (5-11) različitih osjetljivosti prijemnika za različite brzine za maksimalni domet prilikom prostiranja signala sa kata iznad dobiju se rezultati prikazani Tab.5.11.

Tab.5.11. Izračunati maksimalni dometi na osnovu modela prostiranja signala sa kata iznad

P_i [dBm]	d_{max} [m]
-93	44,02
-85	35,00
-70	18,08

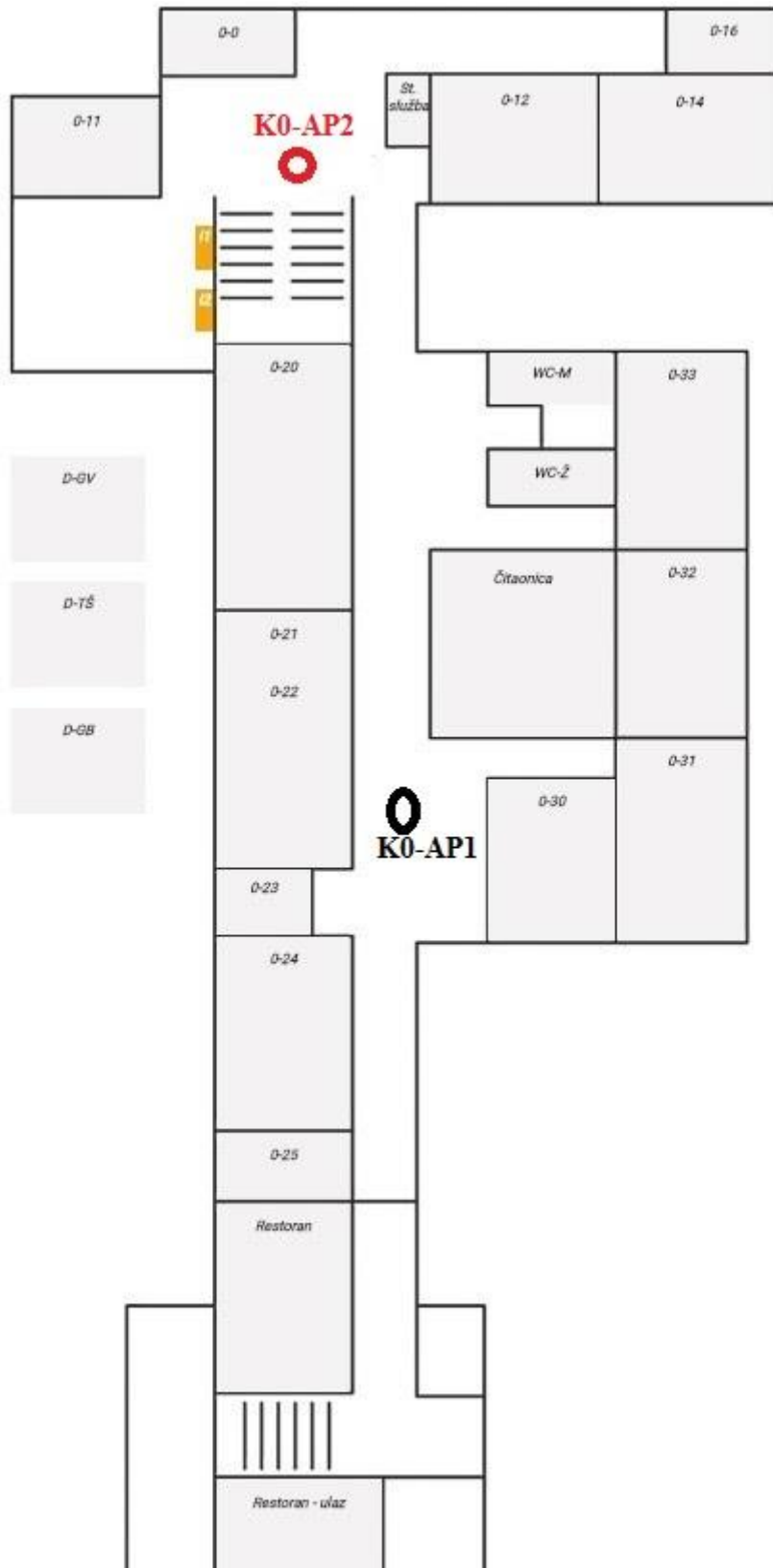
Usporedbom maksimalnog dometa signala na trećem i drugom katu pri pokrivanju signalom iste pristupne točke, može se zaključiti da se da je drugi kat pokriven s manjom snagom, a posljedično i manjom brzinom prijenosa podataka, zbog gušenja koje uzrokuje betonska ploča između dva kata. Prijemnoj snazi signala pridonose komponente signala koje na drugi kat dolaze kroz prozore što pojačava snagu u nekim mjernim točkama.

5.3. Predloženi raspored i broj pristupnih točki WLAN signala u zgradi

FERIT-a

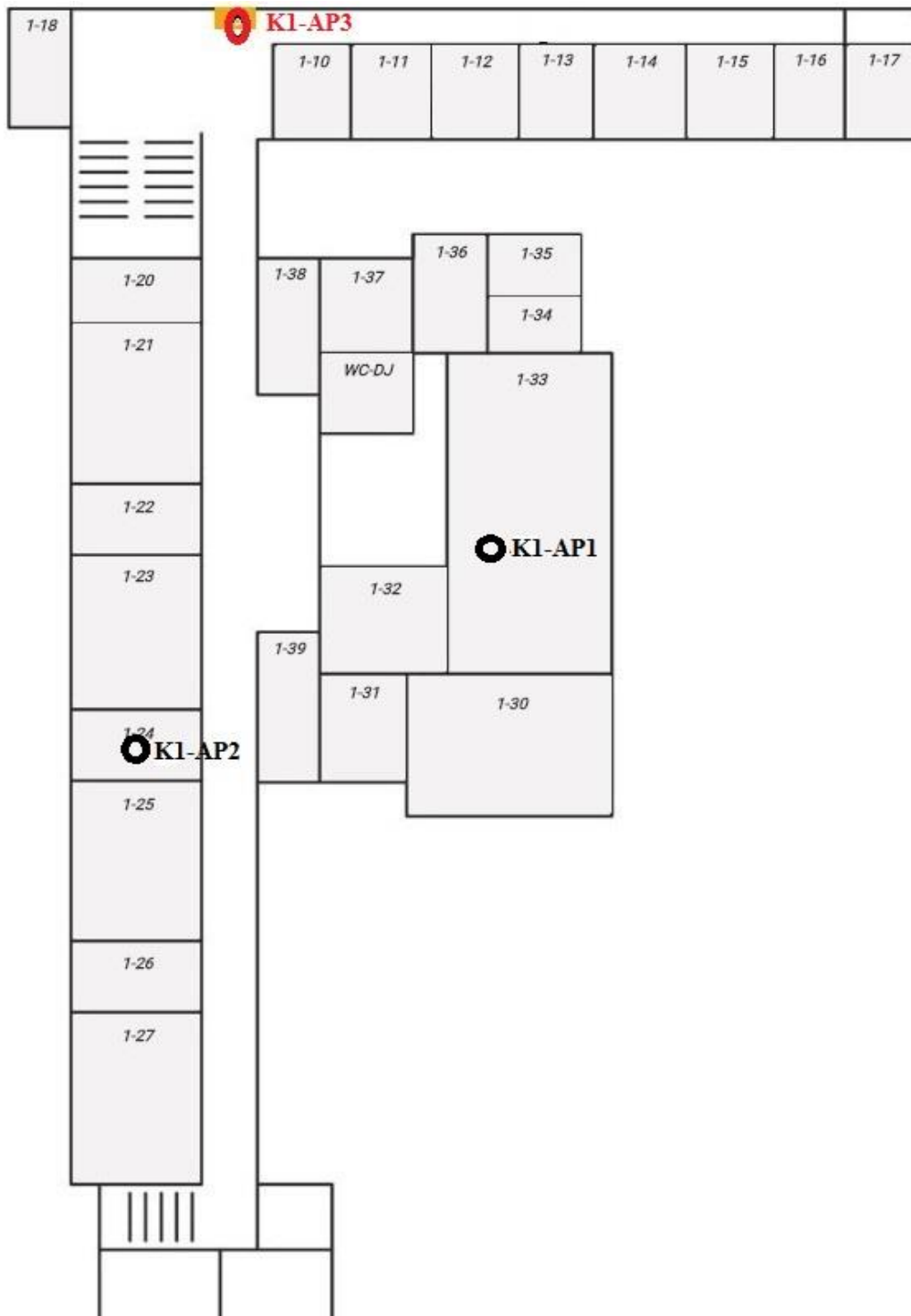
Na osnovu mjerenja, odnosno proračuna izvedenih modela zaključuje se da je potrebno dodati još pet pristupnih točki uz već postojeće četiri, te promijeniti položaj postojećih kako bi se osigurala pokrivenost cijele zgrade FERIT-a WLAN signalom. Pristupne točke bi se postavila u spušenom stropu. Postojeće pristupne točke su označene crnom elipsom („KX-APY“), dok su dodane pristupne točke označene crvenom elipsom na svim tlocrtima (Sl.5.7., 5.8., 5.9., 5.10.).

Na nultom katu je potrebno dodati još jednu pristupnu točku i postojećoj pristupnoj točki (K0-AP1) promijeniti položaj (iz prostorije 0-20, na hodnik) kao što je naznačeno na tlocrtu (Sl. 5.7.). Pristupna točka označena na tlocrtu sa KO-AP2 pokrivat će prostorije : 0-11. 0-0, 0-12, 0-14, 0-16, 0-33, 0-20 koje do tada nisu bile pokrivena, te poprečni hodnik i hodnik oko stepenica. Pristupna točka K0-AP2 pokrivat će prostorije 0-21, 0-22, 0-23, 0-24, 0-25, Restoran, hodnik, 0-30, 0-31. Prostorija označena na tlocrtu sa „Čitaonica“ ne stvara veliko gušenje zbog materijala korištenog pri izradi prostorije, te omogućuje nesmetano prostiranje signala do prostorija 0-32 vidljivo na tlocrtu (Sl. 5.7). Na prvom katu pristupna točka K1-AP3 osigurava pokrivanje signalom poprečnog hodnika, dio vertikalnog hodnika i prostorije: 1-18, 1-10, 1-11, 1-12, 1-13, 1-14, 1-15, 1-16, 1-17, 1-20, 1-38. K1-AP2 prostorije: 1-21, 1-22, 1-23, 1-24, 1-25, 1-26, 1-27, 1-39 i drugi dio vertikalnog hodnika. K1-AP1 osigurava pokrivanje signalom za prostorije: 1-33, 1-34, 1-35, 1-36, 1-37, 1-32, 1-31, 1-30, hodnik između WC-DJ i vijećnice (1-33) i dio vertikalnog hodnika što je vidljivo na tlocrtu (Sl.5.8.). Na drugom katu K2-AP1 bi pokrivaio prostorije: 2-10, 2-11, 2-12, 2-13, 2-14, 2-20, poprečni hodnik dio vertikalnog hodnika, K2-AP2 bi pokrivaio sve ostale prostorije na tom katu vidljivo na tlocrtu (Sl.5.9.). Na trećem katu K3-AP1 bi osiguravao pokrivenost vertikalnog hodnika i prostorija: 3-40, 3-28, 3-27, 3-26, 3-25, 3-24, 3-23, 3-22, dok bi pristupna točka K3-AP2 osiguravala pokrivenost poprečnog hodnika te prostorija: 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21, 3-10, 3-11, 3-12, 3-13, 3-14, 3-15, 3-16, kao što je vidljivo na tlocrtu (Sl. 5.10).



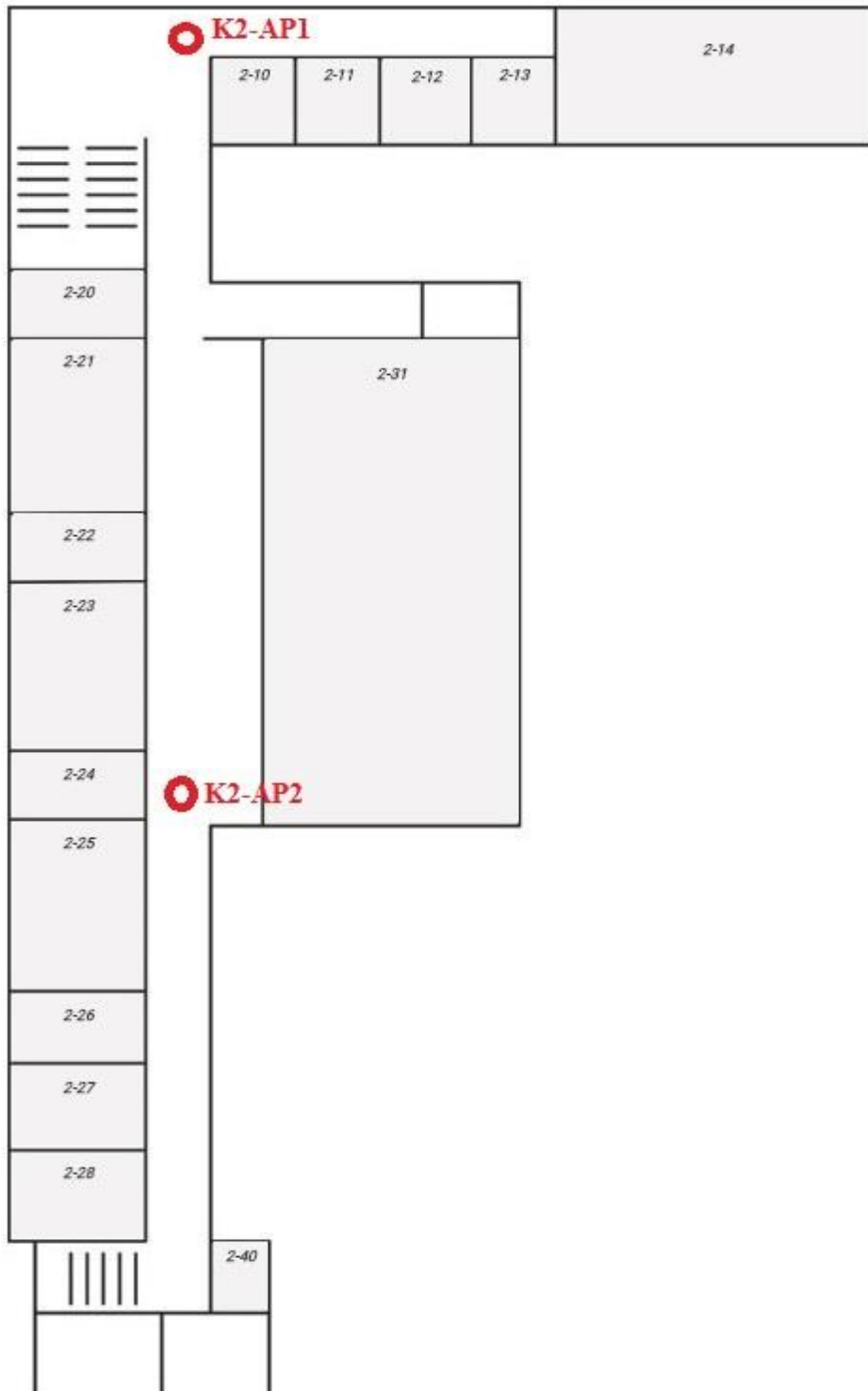
Sl. 5.7. Tlocrt nultog kata sa predloženim rasporedom pristupnih točaka

Na prvom katu je potrebno izmjestiti K1-AP2 iz prostorije 1-21 u prostoriju 1-24 te dodati još jednu pristupnu točku zbog toga što se kat sastoji iz mnogo prostorija, a samim time i zidova koji stvaraju gušenje signala prilikom prostiranja. Time bi se dobio novi raspored i povećao broj pristupnih točki te osigurala pokrivenost prostorija koje se nalaze oko poprečnog hodnika kao što je naznačeno na tlocrtu (Sl. 5.8.).



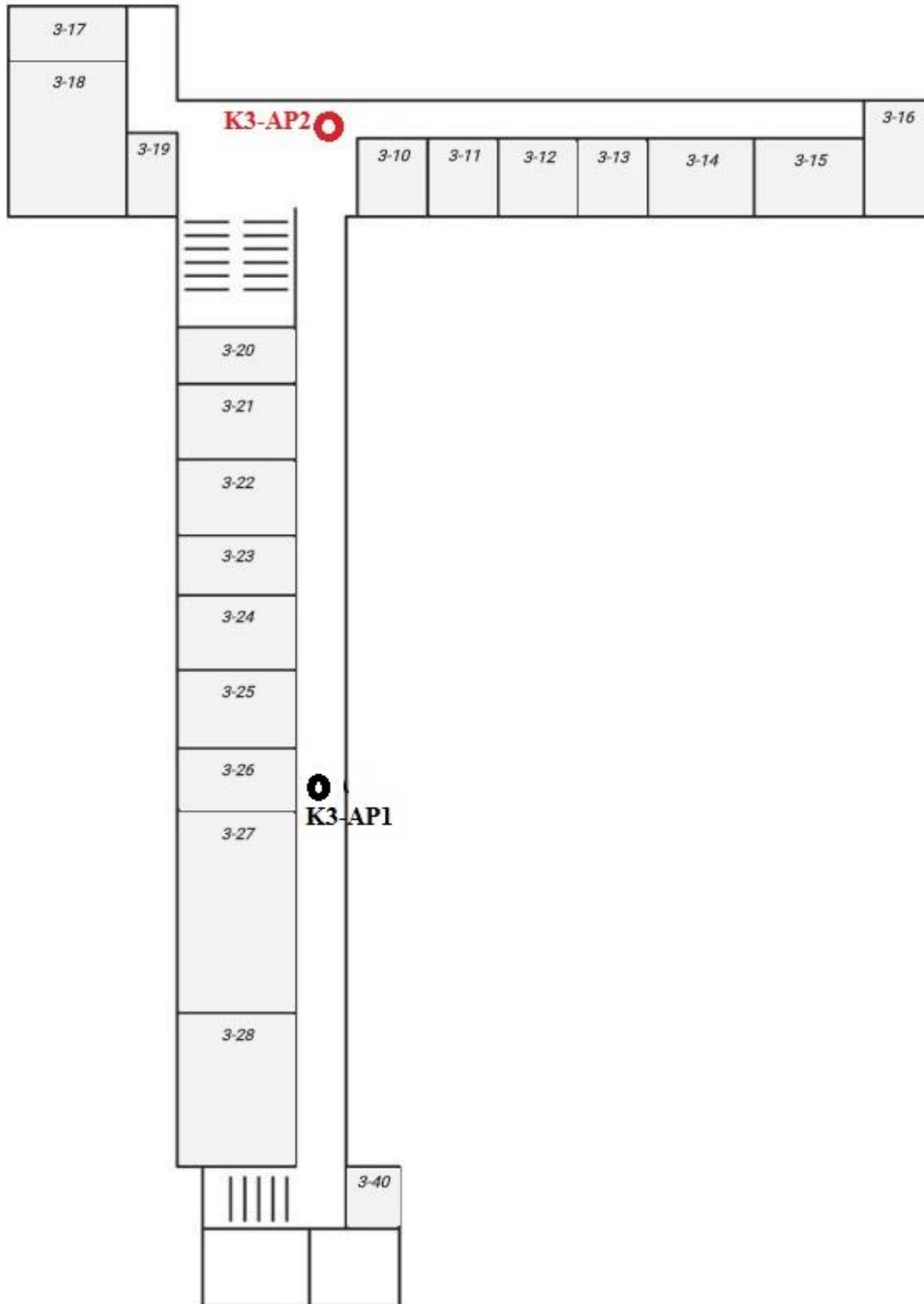
Sl.5.8. Tlocrt prvog kata sa predloženim rasporedom pristupnih točaka

Na drugi kat bi bilo poželjno dodati dvije pristupne točke kako bi se osigurala njegova pokrivenost WLAN signalom. Time bi se osigurala pokrivenost prostorija oko poprečnog hodnika, velike prostorije 2-31, te ostalih u kojima do tada nije bilo velike pokrivenosti. Položaj pristupnih točki je prikazan na tlocrtu (Sl.5.9.).



Sl.5.9. Tlocrt drugog kata sa predloženim rasporedom pristupnih točaka

Na trećem katu je potrebno dodati jednu pristupnu točku, te postojeću izmjestiti (umjesto ispred prostorije 3-25, nalazila bi se ispred prostorije 3-26) kako bi se osigurala pokrivenost čitavog kata WLAN signalom. S postojećim rasporedom su najlošije pokrivenene prostorije oko poprečnog hodnika. Položaj pristupnih točki prikazan je na tlocrtu (Sl.5.10.).



Sl.5.10. Tlocrt trećeg kata sa predloženim rasporedom pristupnih točaka

6. ZAKLJUČAK

U ovom je završnom radu bilo potrebno proučiti bežične mreže, obaviti određena mjerenja WLAN signala unutar zgrade FERIT-a u Osijeku, odnosno odrediti efektivnu pokrivenost WLAN signalom, na osnovu toga i proračuna odrediti je li potrebna određena korekcija rasporeda pristupnih točki ili je dodavanje novih. U teorijskom dijelu su opisani: načini propagacije bežičnog signala koju određuju tri mehanizma: refleksija, difrakcija i raspršenje (o ova tri mehanizma ovisi snaga primljenog signala na prijemniku), parametri propagacije radio bežičnog vala u slobodnom prostoru te u zatvorenom prostoru. Kako bi se odredila pokrivenost zgrade WLAN signalom vršena su mjerenja pomoću aplikacije WiFi Analyzer na mobilnom uređaju, a za preciznije određivanje udaljenosti mjerne točke od pristupne točke korišten je tračni metar.. Pomoću obavljenih i zabilježenih mjerenja napravljena su tri modela: model prostiranja signala kroz prostorije, model prostiranja signala kroz hodnik, model prostiranja signala pristupne točke sa kata iznad. Za svaki model stvorena su po tri pod-modela: snaga signala u linearnoj ovisnosti o udaljenosti, u ovisnosti o logaritmu udaljenosti te prostiranje signala u slobodnom prostoru. Na osnovu modela prostiranja signala i dobivenih rezultata proračuna dometa veze za određeni model prostiranja signala, predložen je novi raspored pristupnih točaka, kao i povećanje njihovog broja za potpuno pokrivanje zgrade FERIT-a u Osijeku. Rezultati mjerenja i proračuna ukazuju da je na nulti kat potrebno dodati jednu pristupnu točku i postojeću izmjestiti na novu lokaciju. Na prvi kat je potrebno dodati još jednu pristupnu točku te postojećoj pristupnoj točki koja se nalazila u prostoriji 1-21 promijeniti poziciju unutar objekta. Na drugom i trećem katu je skoro isti raspored pristupnih točki jer imaju i jako sličan raspored prostorija. Na drugom katu je potrebno dodati dvije pristupne točke kako bi se osigurala pokrivenost WLAN signalom dok je na trećem katu potrebno dodati jednu pristupnu točku i postojeću pristupnu točku premjestiti.

Pokrivanje neke zgrade signalom WLAN mreže ovisi o karakteristikama prostora, odnosno o rasporedu i veličini prostorija, te vrsti i rasporedu zidova. Modeli prostiranja signala dobiveni u ovom radu mogu se koristiti za proračun pokrivanja signalom i drugih prostora, ali samo onih koji po svojem obliku i načinu gradnje imaju iste karakteristike kao zgrada FERIT-a u kojoj su provedena mjerenja. Međutim, metodologija korištena u ovom radu može se primijeniti na bilo koji prostor tako da se postavi određeni broj pristupnih točaka, provedu mjerenja i izrada modela, te na temelju proračuna dometa naprave korekcije u rasporedu i broju pristupnih točaka.

LITERATURA

- [1] A. F. Molisch, „Wireless Communications Second edition“, John Wiley & Sons, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kindom, 2011.
- [2] J. Bach Anderson, T.S. Rappaport i S. Yoshida, „Propagation Measurments and Models for Wireless Communications Channels“ , IEEE Communications Magazine, Siječanj 1995.
- [3] S. I. Zahradka, "Radiokomunikacijski sustavi I. dio", Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [4] J.M. Hernando, F. Perez-Fontan, „Introduction to Mobile Communications Engineering“, Artech House Publishers, 1999.
- [5]http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1130-ag-series/product_data_sheet0900aecd801b9058.html
- [6] <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1613796&seqNum=2>

ŽIVOTOPIS

Daniel Buljeta je rođen u Ozimici, Žepče 20.prosinca 1994.godine. Tijekom osnovnoškolskog obrazovanja sudjeluje na natjecanju iz matematike, te u Žepču, 2009. godine završava osnovnu školu „OŠ Žepče“. Iste godine upisuje srednju školu za zanimanje „Tehničar za mehatroniku“ u Katoličkom školskom centru „Don Bosco“ u Žepču. Tijekom srednjoškolskog obrazovanja sudjeluje na natjecanjima iz mehanike u Osijeku, te iz osnova elektrotehnike u Zagrebu. Srednju školu završava 2013. godine te iste godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

U Osijeku, 2016.

Daniel Buljeta

SAŽETAK

U ovom radu su opisane bežične mreže, te analizirana pokrivenost zgrade FERIT-a u Osijeku WLAN signalom. Rad se sastoji od teorijskog dijela, opisa i analize mjerenja snage signala, izrade propagacijskih modela za tri tipa prostora te proračuna dometa signala prema tri modela. U teorijskom dijelu su općenito opisane bežične mreže, njihova povijest, razvoj i karakteristike pojedinog standarda. U praktičnom dijelu rada provedena su mjerenja snage signala WLAN mreže unutar zgrade FERIT-a. Na temelju mjerenja napravljena su tri modela prostiranja signala: model prostiranja kroz hodnik, model prostiranja kroz prostorije i model prostiranja signala sa kata iznad. Primjenom ovih modela proračunati su dometi veza za tri brzine prijenosa.

Na osnovu mjerenja i proračuna predložen je novi raspored i broj pristupnih točki za pokrivenost čitave zgrade WLAN signalom.

Ključne riječi: WLAN, propagacija radio-signala u zatvorenom prostoru, propagacijski modeli, procjena pokrivenosti signalom.

ABSTRACT

This paper describes wireless networks and explores the WLAN signal coverage inside of the FERIT building in Osijek. The paper consists of a theoretical part, description and analysis of signal power measurements, making signal propagation models for three types of environment as well as signal range calculations according to the three propagation models. The first part of the paper presents a general description of the wireless networks and their history, as well as the development and the characteristics of each standard. The second part delivers a detailed analysis of the receiver signal power measurements and a design of the propagation models for three types of building spaces. Based on the measurements the following signal propagation models are generated: a propagation model for a hallway, a propagation model for rooms, and a propagation model for the floor below. These models are applied in order to estimate the wireless signal ranges for three different transfer rates.

Finally, the measured and the modelled data are used to suggest a new arrangement and a different number of access points in anticipation of a full signal coverage inside of the FERIT building.

Key words: WLAN, indoors radio-wave propagation, propagation models, signal coverage assessment