

Mjerenje i ispitivanje razine i kvalitete signala bežične komunikacijske mreže

Radišić, Boris

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:916800>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Boris Radišić

MJERENJE I ISPITIVANJE RAZINE I KVALITETE SIGNALA
BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**MJERENJE I ISPITIVANJE RAZINE I KVALITETE SIGNALA
BEŽIČNE KOMUNIKACIJSKE MREŽE**

**MEASURING AND TESTING OF THE LEVEL AND SIGNAL QUALITY
OF A WIRELESS COMMUNICATION NETWORK**

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Boris Radišić

JMBAG: 0135227837

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK:

Bežične komunikacijske mreže danas su dostupne širokom broju ljudi, a jedan od razloga je upravo zbog razvoja velikog broja mobilnih uređaja koji podržavaju spajanje na bežičnu mrežu. Danas su se one integrirale gotovo u svaki dio čovjekovog života: kuće i stanove, automobile, satove, televizore, stolove, perilice rublja, itd. Zbog jednostavnijeg prijenosa podataka, bez fizičkog spajanja, u bežičnom prijenosu podataka, podržanog od strane IEEE 802.11 standarda, javljaju se brojne smetnje koje utječu na kvalitetu signala koje ne postoje u drugim vrstama prijenosa. U današnje vrijeme, teži se prema maksimalnoj kvaliteti signala, pa su stoga razvijeni programski alati koji uklanjaju poteškoće vezane uz signal Wi-Fi mreže te druge performanse i samo njezino dizajniranje. U radu je korišten programski alat *Ekahau Site Survey* kako bi se krajnjim korisnicima omogućilo testiranje njihove mreže i omogućilo poboljšanje iste kroz analizu prometnih parametara i kako bi ju korisnici mogli koristiti u njezinom punom opsegu i s maksimalnom funkcionalnošću.

KLJUČNE RIJEČI: bežične komunikacijske mreže, bežični prijenos podataka, *Ekahau Site Survey*, IEEE 802.11.

SUMMARY:

Wireless communication networks are present today to a large number of people due to the development of a large number of devices that support wireless network connectivity. Today they have been integrated into almost every part of human's life: homes and apartments, automobiles, watches, televisions, benches, washing machines, etc. For simplicity of data transfer, without physical wiring, in wireless data transmission, supported by IEEE 802.11 standards, there are numerous interferences that affect the quality of signals that do not exist in other types of transmissions. Today, however, we strive to maximize the signal quality, so tools have been developed to remove wi-fi network signaling difficulties and other performance. The most famous such tool is Ekahau. The Ekaha software tool was used to allow end users to test their network and to improve them by analyzing traffic parameters and allowing users to use it in its full range and with maximum functionality.

KEYWORDS: wireless communication networks (Wi-Fi), wireless data transfer, Ekahau, IEEE 802.11

SADRŽAJ:

1. Uvod	1
2. Bežične komunikacijske mreže	3
2.1. Vrste prijenosa signala.....	3
2.1.1. Žični prijenos.....	3
2.1.2. Optički prijenos	3
2.2. Bežične komunikacijske mreže	4
2.3. Mobilne komunikacijske mreže.....	5
2.4. Senzorne komunikacijske mreže	5
2.5. Satelitske komunikacijske mreže.....	7
2.6. Razvoj mobilnih mreža i standarda kroz povijest	9
2.6.1. 0G	9
2.6.2. 1G	9
2.6.3. 2G	11
2.6.4. 2.5G.....	14
2.6.5. 3G	16
2.6.6. 4G	19
2.6.7. 5G	21
2.7. WiMAX	22
3. Pregled Wi-Fi infrastrukture	23
3.1. Wi-Fi.....	23
3.1.1. Razvoj IEEE 802.11 standarda.....	23
3.1.2. Prednosti i nedostaci Wi-Fi mreže	24
3.2. Fi-Wi.....	25
3.3. WiFi4EU.....	26
3.4. Razvoj Wi-Fi-a u Europi i svijetu.....	27
3.5. Osnovne komponente Wi-Fi strukture	28

3.5.1.	Pristupne točke	28
3.5.2.	Bežični mostovi.....	29
3.5.3.	Bežični klijentski uređaji.....	29
3.5.4.	Bežični gatewayi	30
3.5.5.	Antene	31
3.5.6.	Korištene frekvencije	31
3.5.7.	Kvaliteta signala	33
3.6.	Korišteni standardi i slojevi TCP/IP modela kao elementi Wi-Fi mreže	35
3.6.1.	Aplikacijski sloj.....	36
3.6.2.	Transportni sloj	36
3.6.3.	Mrežni sloj.....	37
3.6.4.	Podatkovni sloj.....	38
3.6.5.	Fizički sloj.....	38
4.	Programski alati za mjerenje signala Wi-Fi mreže	39
4.1.	Osvrt na dosadašnja istraživanja.....	39
4.2.	NetStop	40
4.3.	inSsider	42
4.4.	Ekahau	43
5.	Ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže (na primjeru ZUK Borongaj, objekt 70)	50
5.1.	Jačina signala	53
5.2.	Omjer signala i buke.....	55
5.3.	Preklapanje kanala	57
5.4.	Brzina prijenosa	59
6.	Zaključak.....	62
	Literatura	64
	Popis kratica	67

Popis slika	69
Popis tablica	70

1. Uvod

Danas bežične mreže čine neizostavni dio gotovo svakog mrežnog sustava. Najveći problem u realizaciji bežičnih mreža čine različita ometanja Wi-Fi signala, koja smanjuju njegovu kvalitetu.

Svrha diplomskog rada je prikazati razine i kvalitete signala bežične komunikacije u *indoor* okruženju. Da bi se postigla svrha rada, potrebno je realizirati sljedeći cilj rada: programskim alatom *EKahau Site Survey Pro* napraviti testiranje kvalitete signala bežične komunikacijske mreže te provesti i prikazati rezultate kroz različite parametre za kvalitetu bežične komunikacijske mreže. U cilju postizanja navedenog, diplomski rad je strukturiran kroz sljedeća povezana poglavlja odnosno teze:

1. Uvod
2. Bežične komunikacijske mreže (Wi-Fi)
3. Pregled Wi-Fi infrastrukture
4. Programski alati za mjerenje signala Wi-Fi mreže
5. Mjerenje prometnih parametara Wi-Fi mreže
6. Ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže (na primjeru ZUK Borongaj, objekt 70)
7. Zaključak

Nakon teoretske pozadine rada, u ovom diplomskom radu na praktičnom primjeru prikazano je ispitivanje razine i kvalitete signala bežične komunikacijske mreže te provedena usporedba parametara koji pridonose kvaliteti usluge. Ispitivanje se provelo na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu u objektu 70 Znanstveno – učilišnog kampusa Borongaj (ZUK Borongaj).

Stoga, nakon Uvoda, u drugom poglavlju rada opisuju se bežične komunikacijske mreže: klasične bežične komunikacijske mreže, mobilne komunikacijske mreže, senzorne komunikacijske mreže i satelitske komunikacijske mreže. Ujedno su opisani žični i optički prijenos signala kao i razvoj mobilnih mreža kroz generacije razvoja.

Treće poglavlje vezano je uz bežične komunikacijske mreže te najpoznatiji standard za bežični prijenos – IEEE 802.11. Ujedno u tom poglavlju bit će opisan Wi-Fi te Direktiva EU poznata kao WiFi4EU.

U četvrtom poglavlju opisane su osnovne komponentne Wi-Fi strukture, počevši od pristupnih točaka, preko uređaja na strani korisnika do antena te korištene frekvencije i kvalitete signala.

U petom poglavlju, opisani su korišteni standardi i slojevi TCP modela kao osnovni elementi Wi-Fi mreže.

U šestom poglavlju opisana su tri najkorištenija programska alata u području mjerenja kvalitete signala Wi-Fi mreže: *NetStop*, *inSider* i *EkaHau*.

U sedmom poglavlju opisano je mjerenje i ispitivanje u objektu 70 Znanstveno – učilišnog kampusa Borongaj kroz određene parametre kao što su jačina signala, omjer signala i buke, preklapanje kanala i brzina prijenosa.

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

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

2. Bežične komunikacijske mreže

Prvotno je potrebno definirati što su to uopće komunikacijske mreže, koje vrste bežičnih komunikacijskih mreža postoje te na koje načine se može prenositi signal u komunikacijskim mrežama.

2.1. Vrste prijenosa signala

Najpoznatiji načini prijenosa signala su žičani i optički prijenos koji će biti opisani u nastavku ovog potpoglavlja (2.1.1. i 2.1.2.).

2.1.1. Žični prijenos

Žični prijenos signala u mobilnim mrežama ostvaruje se spajanjem bakrenih žica, a signal putuje uz pomoć električne struje. U takvim vrstama prijenosa dolazi do smetnje, s obzirom da se pojavljuju interferencije kroz induciranu struju.

Bakrene žice koje se pri tome koriste su:

- *Unshielded twisted pair* – UTP
- *Coaxial cable* – coax
- *Shielded twisted pair* – kombinacija ranijih vrsta bakrenih žica

Žični prijenos signala najčešće se koristi u lokalnim računalnim mrežama (engl. *Local Area Network*, kratica LAN).

2.1.2. Optički prijenos

Optički prijenos podataka koristi se kod uspostave MAN mreža (engl. *Metropolitan Area Network*) za povezivanje korisnika u topologiju točke do točke što predstavlja izuzetno dobru alternativu za povezivanje svjetlovodnim kablovima. Osim toga optički prijenos podataka može se koristiti prilikom izgradnje LAN mreža kao alternativa za postojeće Wi-Fi

standarde. Međutim, optički prijenos podataka može se vršiti i uz pomoć svjetlovodnih kablova.

U takvim optičkim vrstama prijenosa podataka postižu se brzine koje su veće od 100 Mbps što je znatno više od uobičajenih brzina koje nude ADSL (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*) priključci. Optički prijenos stoga bez problema uklanja barijere slabih internetskih veza gdje se u kućanstvu prilikom gledanja video sadržaja putem Interneta (primjerice *Youtube*), paralelno nije moglo raditi više ništa na drugim računalima.

Danas je optički prijenos najrašireniji u gradu Zagrebu, prije svega u novijim zgradama.

Sam bežični prijenos signala putem optičke veze (engl. *Free Space Optics*, kratica FSO) najčešće se koristi za topologiju točke do točke, ali očekuje se da će interes za bežični optički prijenos rasti i u budućnosti, te će se ova vrsta prijenosa podataka vezati uz LAN mreže. Razvoj bežičnih optičkih komunikacija u lokalnim mrežama teži primjeni povezivanja skupova računalnih, informatičkih i multimedijalnih sustava srednje i velike mobilnosti. Bežična optička komunikacija u lokalnim mrežama je općenito ograničena za zatvoreni prostor unutar kojeg je moguće provesti povezivanje – zatvoreni sustav povezivosti koji objedinjuje osobni prostor povezivosti i tjelesni prostor povezivosti [13].

Optički prijenos koristi se prilikom satelitske komunikacije vidljivim svjetlom te zemaljske komunikacije vidljivim svjetlom.

2.2. Bežične komunikacijske mreže

Bežične mreže su mreže u kojima se povezuju dva ili više uređaja pomoću elektromagnetskih valova koji se kreću pod određenom radnom frekvencijom. U bežičnim komunikacijskim mrežama postoje sljedeće vrste prijenosa podataka:

- FDMA (engl. *Frequency division multiple access*) koristi se za prijenos analognih signala, a predstavlja višestruki pristup s podjelom frekvencija pri čemu se frekvencije koje imaju šire pojase dijele na kanale te se svakoj komunikaciji dodjeljuje jedan kanal. Tako se preko više kanala odvija više komunikacija jednom frekvencijskom pojasu.
- TDMA (engl. *Time-division multiple access*) frekvencijski pojas se dijeli na vremenske intervale.

- CDMA (engl. *Code-division multiple access*) signal se širi preko cijelog frekvencijskog pojasa. Koristi se kodiranje signala koje je poznato samo pošiljatelju i primatelju.

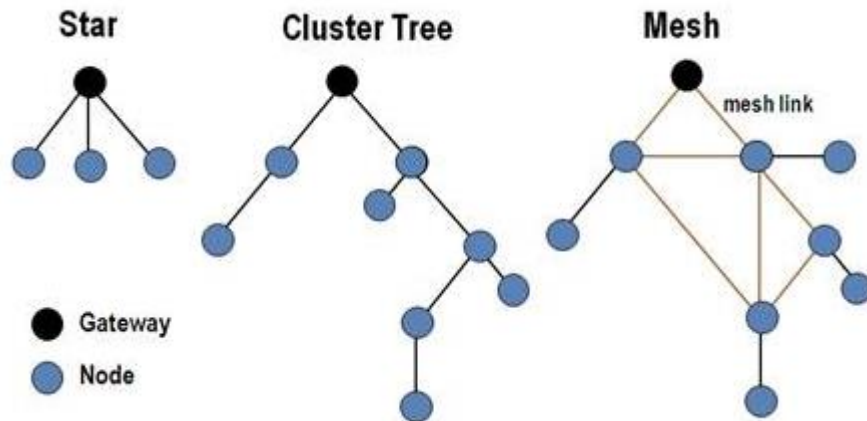
2.3. Mobilne komunikacijske mreže

Mobilne mreže predstavljaju danas najrasprostranjeniji oblik komunikacije i predstavljaju jedno od temeljnih prava kojima teži svaki čovjek. Do 2020. godine predviđa se porast mobilnoga prometa od 70 puta u odnosu na stanje u 2013. godini te udvostručenje broja mobilnih korisnika. [5] Predviđa se da će budući korisnici imati samo jedan višenamjenski uređaj koji će biti u stanju uspostaviti bežičnu komunikaciju u frekvencijskom rasponu od nekoliko stotina MHz do nekoliko desetaka GHz. Pri tome će upotrebljavati tzv. Pametni radio gdje će softverski moći birati pristupnu kao i jezgrenu mrežu. Spektralna ograničenja će se riješiti uporabom licenciranog i nelicenciranog spektra te suradnjom s radiodifuznim TV operatorima korištenjem tzv. Bijelog prostora. Pojednostavljena jezgrena mreža bit će u potpunosti izgrađena na IP tehnologiji, gdje će se primjenjivati nanotehnologija u cilju veće procesorske brzine i memorijskog kapaciteta te manjih fizičkih dimenzija kao i virtualizacija mrežnih funkcija kojima će korisnici moći pristupiti sa zajedničkih poslužitelja smještenih u oblaku [5].

2.4. Senzorne komunikacijske mreže

Senzorne komunikacijske mreže (engl. *Wireless Sensor Network*, kratica WSN) temelje se na postojanju senzora kojima se bilježi praćenje i prikupljanje podataka iz njihove okoline. Senzorne bežične komunikacijske mreže pri tome se najviše upotrebljavaju za područje meteorologije i ostalih elemenata kojima se prati stanje okoliša kao što su razine onečišćenja, zvuk, temperatura, utjecaj vjetrova, razina vlage, razina tlaka i drugi elementi koji se mogu mjeriti iz područja ekologije, meteorologije i zaštite zdravlja ljudi. Uz to senzorne komunikacijske mreže također su primjenjive u komunalnim uslugama, prije svega kod praćenje potrošnje električne energije i vode.

U svojem radu senzorne komunikacijske mreže koriste radnu frekvenciju od 2.4 GHz temeljenu na standardu IEEE 802.15.4 i Wi-Fi standard IEEE 802.11. Na slici 1 su prikazani tipovi mrežnih topologija za senzorne komunikacijske mreže.



Slika 1. Tipovi mrežnih topologija za senzorne komunikacijske mreže [18]

Senzorne komunikacijske mreže koriste tri mrežne topologije i to na način kao što je definirano u nastavku i prikazano na prethodnoj slici [18]:

- Zvijezdu gdje je svaki čvor spojen direktno na baznu stanicu
- Klaster gdje se svaki čvor spaja na njemu viši čvor u stablu, a dva glavna čvora spajaju se na bazu. Podaci se pri tome šalju od najnižih čvorova baznoj stanici
- Topologija mreže koju čine čvorovi koji se mogu višestruko povezivati s čvorovima u sustavu te se u toj topologiji podaci šalju prema najpouzdanijim načinima.

Senzorne komunikacijske mreže dijele se na [18] :

- Senzorne mreže koje se nalaze iznad zemlje gdje mogu vrlo kvalitetno komunicirati s baznim stanicama. Ovdje može biti prisutan veliki broj čvorova koji su raspoređeni prema *ad hoc* principu ili nekoj odgovarajućoj topologiji. Osnovni nedostatak je baterija u sensorima koja ima određeni vijek trajanja, pa se kod ovog tipa senzornih komunikacijskih mreža u čvorove dodatno ugrađuju solarne ćelije za alternativne izvore napajanja.
- Senzorne mreže koje se nalaze pod zemljom tako da prate uvjete pod zemljom. Osnovni nedostatak ovdje također predstavlja punjenje za koje ne postoji alternativa kao kod senzora raspoređenih iznad zemlje te veliki gubici u prijenosu signala

- Senzorne mreže koje se nalaze pod vodom gdje se nalazi veliki broj senzornih čvorova koji komuniciraju s baznim stanicama koje se nalaze u podmornicama, polupodmornicama i brodovima uz pomoć kojih se prikupljaju podaci. Osnovni nedostaci takvih senzornih komunikacijskih mreža su uz već spomenute baterije koje se ne mogu puniti niti zamijeniti u sensorima pod vodom, kašnjenje, propusnost i kvarovi na senzornim čvorovima.
- Multimedijske senzorne mreže koje imaju mogućnost prikupljanja podataka u obliku slike, videa ili zvuka. U takvim mrežama senzorni čvorovi opremljeni su mikrofonom i kamerama pa zbog toga troše izuzetno puno električne energije. Ujedno zahtijevaju visoku razinu propusnosti, rad s obradom podataka i tehnikama kompresije kako bi se podacima smanjila veličina radi njihove daljnje analize i arhiviranja.
- Mobilne senzorne mreže temelje se na čvorovima koji su mobilni što omogućuje znatno veću pokrivenost takve senzorne mreže, veću energetska učinkovitost, veći kapacitet kanala, i druge prednosti pred klasičnim senzornim komunikacijskim mrežama.

2.5. Satelitske komunikacijske mreže

Satelitske komunikacijske mreže temelje se na satelitskoj internetskoj vezi, pri čemu se podaci od Wi-Fi uređaja i prema njemu šalju preko satelita. Satelitske komunikacijske mreže nešto su skuplje od klasičnih bežičnih komunikacijskih mreža, ali ih danas brojni operatori koriste u područjima gdje je pokrivenost klasičnim bežičnim komunikacijskim mrežama i kablskim vezama usporena ili nedostupna.

Sateliti nude širokopojasne usluge poput televizije ili prijenos videa prema zahtjevu, bežičnog telefona i elektroničke pošte već godinama. Internet putem satelita pripada u vrstu bežičnih pristupa Internetu.

Prijenos podataka u takvim mrežama može se ostvariti na dva načina:

- Jednosmjernom satelitskom vezom gdje se satelitska veza koristi za slanje podataka prema korisniku, dok se za slanje podataka od korisnika koristi klasična modemska veza

- Dvosmjerna satelitska veza gdje se i slanje i primanje podataka obavlja preko satelita

Satelitskim komunikacijskim mrežama podaci se mogu slati na sljedeće načine:

- *Broadcasting* – podešavanjem prijemnika na odgovarajuću frekvenciju, on će primiti sve podatke koji se šalju kroz prostor. Ovakvo odašiljanje slobodnih i kodiranih digitalnih, i u manjoj mjeri analognih, satelitskih programa predstavlja jedan od najrasprostranjenijih načina slanja podataka.[9]
- *Multicasting* – podaci se šalju definiranom broju korisnika posebnim kanalom kojim se vrši sinkronizacija prometa. Korisnik pri tome sa servera sam pokreće uslugu slanja podataka prema sebi, dok server služi samo da bi poslao informaciju o dostupnosti određenih podataka. S obzirom da u ovakvoj vrsti slanja podataka sudjeluje veliki broj korisnika, korisnik može aktivirati uslugu kriptiranja podataka u svrhu vlastite zaštite.
- *Unicasting* – podaci se šalju samo prema jednom korisniku, zaštićeni su i određeni IP adresom primatelja. Zbog izuzetno visokih zahtjeva u pogledu zaštite korisnika i općenito slanja podataka, ovaj način slanja je najskuplji način slanja podataka ali ujedno i najbrži način slanja.

Satelitske komunikacijske mreže pogodne su za korištenje u klasičnim uredskim prostorijama i kućanstvima, ali nisu primjenjive za *online* igre s obzirom na velika kašnjenja. Na satelitske komunikacijske mreže mogu utjecati vremenske nepogode – kao što su kiša, tuča, ali i sunce pogotovo tijekom mjeseca ožujka i rujna. Uz već navedene nedostatke, satelitske komunikacijske mreže karakterizira veliki doseg signala, velike brzine prijenosa, izuzetno velika pokrivenost signala te isporuka podataka velikom broju korisnika.

Satelitske komunikacijske mreže koriste se kao komercijalne usluge u vidu pružanja usluga Interneta, televizije i radio, a ujedno mogu biti rezerva klasičnim mrežama. Satelitske zamjenske veze najviše su sigurne između ostalih alternativa i omogućuju najvišu moguću raspoloživost veze. Pristup Internetu preko dva tako različita načina pristupa omogućuje praktično 100 % raspoloživost sustava. Promet u zamjenskim vezama u primjeru ispada ostalih linija ima dodijeljen najviši mogući prioritet na satelitu. S tim je zagarantirana najviša moguća brzina veze, praktično jednaka najvišoj brzini izabranog paketa. Za dopunu običnih linija nude se prilagodljiva rješenja, zasnovana na prijenosu preko satelita, sa stalnom vezom i prijenosom 256 kb/s do 2 Mb/s [9].

2.6. Razvoj mobilnih mreža i standarda kroz povijest

Razvoj mobilnih mreža i najpoznatijih standarda prikazan je po generacijama razvoja, počevši s 0G te završno s 5G mobilnim mrežama.

2.6.1. 0G

Nulta generacija (0G) mobilnih mreža postaje dostupna nakon završetka Drugog svjetskog rata, pa se stoga može zaključiti da je ona postojala prije prvih mobilnih telefona, a koristila se u tzv. radio telefonima, koji su zahvaljujući ovoj mreži imali nekoliko dostupnih kanala za uspostavljanje poziva. Uređaji koji su koristili ovu mrežu bili su vrlo slični onima u policijskim vozilima za komunikaciju, samo što su bilo daleko lošije kvalitete. U nultu je generaciju mobilnih mreža bilo uključeno nekoliko metoda i sustava za uspješno provođenje poziva. Neke od tih metoda su *Push To Talk*, sustav mobilne telefonije, napredni sustav mobilne telefonije i brojni drugi.

2.6.2. 1G

Prva generacija mobilnih mreža (1G) se pojavljuje 80-ih godina prošlog stoljeća i smatra se nasljednikom nulte. U skladu s time, ona je nešto bolja ali i dalje s vrlo lošim mogućnostima. 1G mobilna mreža u sklopu svog rada daje mogućnost korištenja analognih radio signala koji su fokusirani na zvuk, a ne na podatke. Zvuk koji se prenosio ovom mrežom, moduliran je na frekvencijama iznosa oko 150MHz zahvaljujući zasebnom višestrukome pristupu s frekvencijskom raspodjelom (engl. *Frequency Division Multiple Access*, kratica FDMA).

Zahvaljujući svojim analognim mogućnostima, 1G se vrlo često naziva i analogna mobilna mreža koja je bila podijeljena na kanale čije su širine iznosile tek vrlo niskih 30 kHz. Ova frekvencija osigurava korištenje mreže od samo 395 korisnika mobilnih uređaja istovremeno. Ovo je jedan od osnovnih nedostataka mreže, međutim ima i jednu prednost koja ju u određenoj mjeri čini boljom od kasnije 2G mreže. 1G je općenito vezana uz veoma niske mogućnosti, pa su tako i ostvarene veze za prijenos govora vrlo loše, a mogućnosti ostvarenja sigurnosti još lošije. Mreža je diljem svijeta bila poznata po različitim imenima, pa se stoga u nordijskim zemljama te zemljama istočne Europe koristio nordijski

standard mobilnih telefona, dok se u npr. Ujedinjenom Kraljevstvu koristio Komunikacijski sustav potpunog pristupa.

Najpoznatiji standardi korišteni u 1G generaciji razvoja radio mobilne telefonije su NMT, AMPS, TACS i njegove varijante.

NMT (engl. *Nordic Mobile Telephone*), prvi je radio mobilni standard. Sam zahtjev za njegovim razvitkom napravljen je na inicijativu Nordijske telekomunikacijske administracije 1970. godine. NMT standard razvijen je 1981. godine zbog sve veće potrebe ručnih mobilnih telefonskih mreža. Standard je razvijen uz zajedničke napore četiri velika mobilna operatera iz navedenih država uz veliku podršku tvrtke Ericsson. Kao izumitelj standarda u literaturi se navodi *Östen Mäkitalo*.

NMT, kao standard za analogni prijenos podataka razvijen je u dvije varijante zbog razlike u frekvenciji koje je koristio, pa tako postoje NMT – 450 i NMT – 900, pri čemu brojevi uz njegov naziv predstavljaju frekvencijsko područje. NMT standard namijenjen je komunikaciji glasom, zasniva se na jednoslojnoj ćelijskoj strukturi, ima velike korisničke terminale. Početno je bio namijenjen samo za upotrebu u automobilima.

Cjelokupni uspjeh obje varijante NMT standarda označio je veliki preokret za tadašnje velike proizvođače mobilnih uređaja, Nokiju i Ericsson.

U prvih nekoliko godina NMT sustavom koristilo se 110 000 korisnika na području Švedske i Finske, te 63 000 korisnika u Norveškoj, što je u to vrijeme predstavljalo najveću svjetsku mobilnu mrežu. Najveću primjenu NMT sustav doživio je u nordijskim zemljama, gdje je i razvijen, te u Bosni i Hercegovini, Bugarskoj, Hrvatskoj, Mađarskoj, Slovačkoj, Sloveniji, Švicarskoj, svim baltičkim zemljama, Rusiji, u zemljama Bliskog Istoka i Aziji.

Nakon što je uveden GSM sustav, naglo je pala popularnost NMT sustava, zbog čega su telekomunikacijski operateri odustali od njegove upotrebe, međutim to ne znači da se NMT sustav nije dalje razvijao ukorak s sustavima razvijenima u drugoj generaciji radiomobilne telefonije.

AMPS (engl. *Advanced Mobile Phono Service*) razvijen je 1983. godine od strane tvrtke Bell Labs u Americi. AMPS je bio telekomunikacijski sustav zasnovan primarno na analognom prijenosu signala u Sjevernoj Americi, ali i šire u periodu do 2000. godine, nakon koje se njegova upotreba intenzivno smanjila. Sustavi, kao što su TACS (engl. *Total Access Communication System*) i ETACS su najstarije varijante AMPS-a koje su se koristile u europskim zemljama. AMPS se može koristiti na frekvenciji 800 MHz pri čemu koristi odvojene frekvencije za svaki razgovor. U kasnim 90-tim godinama u Americi je postojalo već više od milijun korisnika koji su koristili sustav AMPS. Nakon toga, mnoge AMPS mreže

sklone su pretvaranja u D-AMPS koji koristi digitalni standard i pripada drugoj generaciji razvoja radiomobilne telefonije. Sve mreže koje su se koristile AMPS sustavom, isti su zamijenile sustavima CDMA2000 i GSM-om. AMPS sustav, po svojim karakteristikama, sličan je starom IMTS standardu koji se koristio u takozvanoj 0G generaciji razvoja radiomobilne telefonije, s time da AMPS kao noviji sustav koristi veću snagu računala kod odabira frekvencije. Međutim, AMPS ima i neke slabosti. To su: osjetljivost na statiku i buku, ne postoji zaštita od prisluškivanja, zbog čega je i zamijenjen novijim standardima [16].

TACS je inačica AMPS sustava razvijena od strane Motorole. Koristio se u europskim zemljama, Japanu i Hong Kongu.

ETACS je proširena verzija TACS sustava s više kanala za korištenje. Posljednji ETACS sustav koristio se u Velikoj Britaniji do 2001. godine u tvrtci Vodafone.

Hicap je mobilna tehnologija koju su razvili *Nippon Telegraph* i *Telephone* s najvećim mogućim alternativnim kapacitetima kao zamjenu za NMT sustav. Koristio je frekvenciju od 25kHz i FDMA za razdvajanje poziva. Njegova namjena ponajviše je bila vezana uz videosnimanje.

2.6.3. 2G

Nakon prve generacije mobilnih mreža, slijedi druga, poznatija kao 2G, koja je počela s korištenjem 90-ih godina prošlog stoljeća, točnije 1991 godine u Finskoj od strane poduzeća *Radiolinja*. S vremenom se mreža proširila na preko 2 milijarde korisnika u 212 zemalja diljem svijeta koje su imale mogućnost korištenja mobilne mreže nove generacije. Osnovna razlika u odnosu na prethodnu, analognu 1G mobilnu mrežu je da 2G osigurava digitalni prijenos signala koji ne prenosi samo govor, već u određenoj mjeri i podatke. Iako pruža više mogućnosti, tijekom korištenja u maksimalnoj mogućoj mjeri štedi bateriju uređaja na kojem se koristi. Zahvaljujući digitalnim signalima, smanjene su smetnje u kanalima, kao i zagađujuće djelovanje na okoliš, što je bilo izraženo u 1G mobilnoj mreži.

Neke od tehnologija koje su se koristile u sklopu mobilne mreže druge generacije su GSM (engl. *Global System for Mobile Communication*), CDMA One (engl. *Code-Division Multiple Access*), Digital AMPS i PDC (engl. *Primary Domain Controller*). Sama je 2G mobilna mreža bila uspostavljena s ciljem uklanjanja nedostataka koji su se pojavili uslijed korištenja 1G mobilne mreže. Nadalje, još i danas svim vrlo dobre mogućnosti slanja

tekstualnih poruka, kao i slanje podataka preko interneta, pojavile su se upravo u sklopu 2G mobilne mreže. [14]

Druga generacija mobilnih mreža koristi CODEC (engl. *Compression-Decompression Algorithm*) algoritam koji omogućava kompresiju i multipleksiranje digitalnih zvukovnih podataka, a u konačnici isto tako osigurava i mogućnost da veći broj korisnika nego što je bio slučaj kod 1G koristi mrežu, bez smanjenja ili remećenja brzine. Isto tako, korištenje 2G mreže postaje puno sigurnije, jer ne postoji mogućnost prisluškivanja glasovnih poziva, kao ni podataka koji se šalju. Brzina prijenosa 2G mobilne mreže je iznosila do maksimalno 64 kbit/s, dok je propusnost iznosila do 200 KHz, što je podrazumijevalo korištenje 124 dostupna kanala frekvencije 900 MHz. No, kako je 2G djelovala u vrijeme kada je došlo do velikog preokreta u razvoju mobilne tehnologije i interneta, mogućnosti pokrivanja područja i kvalitete prijenosa su rastle. Iz tog razloga dolazi do pojave naprednijih oblika 2G mobilne mreže, 2G+ mobilne mreže. Neke od njih su HSCSD (engl. *High Speed Circuit-Switched Data*), GPRS (engl. *General Packet Radio Service*) i EDGE (engl. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*).

Od navedenih su inačica, ipak najpoznatije i najkorištenije GPRS i EDGE inačice 2G mobilne mreže, koje su vrlo često nazivane 2.5G i 2.75G. One se primjenjuju u praksi od 2000., odnosno 2003. godine, a osnovna razlika između njih je brzina prijenosa podataka, koja se povećava s uvođenjem nove inačice mobilne mreže. Prema tome, ona kod 2.5G mreže iznosi 200 kbit/s, a kod 2.75G 473 kbit/s. Isto tako, u sklopu 2.5G mobilne mreže dolazi do uvođenja nekih novih mogućnosti, koje se prvenstveno vežu uz slanje slikovnih poruka i šireg korištenja interneta, s obzirom na dostupnu brzinu, koja je kod EDGE mreže već vrlo visoka. Ako se promatra postupak multipleksiranja i raspona korištene frekvencije, sve su mobilne mreže jednake.

Za ovu generaciju radiomobilne telefonije najznačajniji su ovi standardi: GSM, IS – 95 CDMA, PCN i PHS.

GSM (engl. *Global System for Mobile Communication*) najpopularniji je standard za mobilne uređaje u svijetu. Koristi ga više od 3 milijarde ljudi u gotovo svim državama. Osnovne karakteristike koje je novi standard trebao zadovoljiti su: funkcioniranje u roamingu, veća kvaliteta govora, cijena termina te isto tako sigurnost veze. Kao jedno od osnovnih svojstava GSM mreže je međunarodni roaming, što zapravo znači da se mobilni telefon može koristiti diljem svijeta gdje su prisutne GSM mreže. To zapravo znači da se mobilni telefon može koristiti unutar države, kao i izvan nje uz naplaćivanje troškova kod mobilnog operatera u državi u kojoj živimo. GSM posjeduje jednu od najsloženijih tehničkih struktura u mrežama

za mobilnu komunikaciju. On omogućava komunikaciju pokretnim telefonima, najčešće govora, ali i prijenos podataka brzinom do 9600 kbit/s. GSM sustav je digitalni i moguće ga je ugraditi u digitalnu komunikacijsku mrežu. Ako se GSM namjerava koristiti za prijenos podataka digitalnog tipa, modemi nisu potrebni, dok se za prijenos analognih podataka javlja zahtjev za postojanjem modema. GSM sustav postao je međunarodni standard za komunikaciju na širem području, unutar i izvan neke države. Struktura GSM sustava ima bazne stanice sa kontrolorima (BTS i BSC) te komunikacijski sustav za omogućavanje fiksne telefonske komunikacije ali također i vezu unutar pokrivenosti GSM mrežom. Terminal korisnika štiti se na tri načina: identitetom samog mobilnog uređaja, SIM karticom i PIN kodom.

GSM posjeduje svojstvo provjeravanja identiteta uređaja kao i samog pretplatnika. U GSM sustavu uz kanale za govor nalazimo kontrolne kanale namijenjene identifikaciji baznih stanica. GSM ukupno koristi 992 kanala. Kontrolne signale neprestano prima mobilna stanica te se nakon toga prilagođava svakoj novonastaloj situaciji. GSM kao novi sustav uveo je jedan novitet koji prethodni mobilni sustavi nisu nudili. Bila je to mogućnost slanja SMS poruka između dva korisnika GSM usluge. GSM sustavom danas se koristi nešto više od 300 milijuna zadovoljnih korisnika u više od 130 država svijeta. Sam sustav i danas se još uvijek razvija. GSM sustav radi na frekvenciji od 900 i 1800 MHz u Aziji, Australiji i Europi, dok na 1900 u Sjevernoj i Južnoj Americi i Africi. Frekvencijski pojasevi od 400 i 450 MHz uglavnom se koriste u sjevernim zemljama Europe. [14]

S obzirom na to da je većina pretplatnika bila jako zadovoljna sustavima prve i druge generacije razvoja radiomobilne telefonije, vodeći telekomunikacijski operateri u svijetu kao i proizvođači mobilnih uređaja, odlučili su korisnicima ponuditi novi sustav koji bi se koristio samo za osobne potrebe. Na taj način nastao je PCN (engl. *Personal Communications Networks*).

PCN sustav uveli su telefonski operateri u Ujedinjenom Kraljevstvu 1985. godine, dok ga je PBX sustav potvrdio samo nekoliko godina kasnije zajedno s nekoliko europskih država.

Sustav je svoju primarnu misiju vidio u povećanju konkurentnosti između telefonskih operatera, te u proširenju kapaciteta telefonskih sustava i njihovih osnovnih karakteristika (težine, trajanja baterije, poziva i sl.). PCN – ov koncept bio je, omogućiti svakom korisniku jedan osobni broj na koji će biti u mogućnosti primiti pozive bez obzira na to gdje se nalazio.

Sustavi koji su se unutar druge generacije razvoja radiomobilne telefonije također koristili poznatiji su pod sljedećim imenima: TDMA IS – 136, CDMA IS – 95, PDC i PHS.

TDMA IS – 136 oslanja se na AMPS tehnologiju, samo što se za razliku od AMPS sustava koristi digitalnim prijenosom signala. Najprije je uveden kao inačica AMPS tehnologije, zvane D-AMPS 1991. godine. Njegovim uslugama koristili su se korisnici u Americi i Aziji.

CDMA IS – 95 oslanja se na CDMA tehnologiju, ali također koristi digitalni signal za prijenos podataka. Sustav koristi cijelu duljinu radio valova, a svaki poziv koji se uspostavlja dobiva jedinstveni kod kojim se razlikuje od drugih poziva. Sustav je najveću primjenu doživio na području Južne Koreje.

PDC (engl. *Personal Digital Cellular*) je telefonski sustav namijenjen pojedinačnom korisniku koji se oslanja na TDMA tehnologiju pristupa. Za vrijeme svojeg plasmana na tržište bio je drugi digitalni standard po veličini. Svojim korisnicima nudio je dodatne usluge kao što su: pozivi na čekanju, prosljeđivanje poziva, korištenje govorne pošte, prijenos podataka i slično. Uveden je 1994. godine u Japanu gdje je i doživio najveću primjenu.

Personal Handy - Phone System, skraćeno PHS, osobni je telefonski sustav zasnovan na digitalnom prijenosu signala. Uveo ga je NTT laboratorij 1995. godine u Japanu kao zamjena za postojeće skupe telefonske sustave. Radi na frekvenciji 1880 MHz i 1930 MHz. Sustav sam po sebi predstavlja vezu između telefonske i bežične tehnologije, ograničen mu je domet (stotinjak metara do najviše 2 km) kao i upotreba u vozilima tijekom vožnje. Zbog svojeg dometa pogodan je za gusto naseljena gradska područja, ali ne i za rjeđe naselja okolna mjesta. Danas ima primjenu još samo u Kini, Tajvanu, Bangladešu, Nigeriji, Tanzaniji i Hondurasu zbog, i za petinu, manjih troškova od GSM mreže.

2.6.4. 2.5G

2.5 generacija radiomobilne telefonije označava prekretnicu između druge i treće generacije razvoja mobilne telefonije. Razliku s 2G generacijom nalazimo u tome što se počinje koristiti prijenos podataka u paketima, dok razlika sa 3G generacijom ponajprije leži u brzini samog prijenosa podataka. Najpoznatiji standard ove generacije, nadaleko je popularni GPRS, a uz njega koristili su se GPRS i GSM EDGE.

GPRS (engl. *General Packet Radio Service*) je standard koji omogućuje bežični prijenos podataka u GSM mreži. GPRS uslugama omogućila je mobilnim operaterima pružanje velikih brzina prijenosa korisnicima zasnovanu na TDMA tehnologiji.

Inicijativa za izgradnjom sustava započela je 1999. godine, dok se on počeo primjenjivati 2001. godine u GSM mrežama mobilnih operatera.

GPRS je nastao kao nadopuna dotadašnjih protokola CSD (engl. *Circuit Switched Data*) i SMS (engl. *Short Message Service*) koji su se koristili u GSM mreži, gdje se GPRS sustav upotrebljava. GPRS nudi svojim korisnicima do deset puta veću brzinu prijenosa nego ju je imala GSM mreža prije nego je u nju integriran, do 171,2 kbit/s. [16]

Usluge koje GPRS nudi u GSM mreži vezane su uz neposredan prijenos podataka, ali isto tako i nove poboljšane aplikacije poput:

- Slanje MMS poruka (engl. *Multimedia Messaging Service*) i SMS poruka
- Mogućnost izgradnje "bežičnog sela".
- Korištenje interneta – elektronička pošta i World Wide Web pristup.
- WAP aplikacija.

EDGE (engl. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) kompatibilni je mobilni sustav GSM mreži s većom brzinom prijenosa podataka zbog čega pripada 3G generaciji radiomobilne telefonije. Smatra se da je razvijen 1999. godine, ali je prvu primjenu u mobilnim mrežama doživio 2003. godine od strane tvrtke Cingular u SAD – u.

EDGE se koristi kao dodatak postojećim GSM i GPRS mrežama iz ranijih generacija radiomobilne telefonije, što postojećim korisnicima GSM mreže omogućuje laganu nadogradnju mobilnih telefona, da bi mogli koristiti moderniji GSM EDGE sustav. EDGE ne zahtijeva novi hardver, softver ni drugu mrežnu tehnologiju već samo manju modernizaciju primopredajne stanice.

GSM EDGE sustav uveden je iz nekoliko razloga: povećanja kapaciteta kanala, brzine prijenosa i prospajanja paketa.

EDGE se koristi 8 faznom modulacijom (8 PSK), što zapravo dovodi do toga da sustav EDGE proizvodi 3 – bitnu riječ za svaku promjenu u fazi korisnika. To omogućuje i do tri puta veće brzine podataka od starijeg GSM sustava. EDGE, slično GPRS – u, koristi adaptaciju algoritma koju prilagođava modulaciji i kodira sheme sukladno kvaliteti radio – signala.

Brzine prijenosa korištenjem ovog sustava kreću se oko 236.8 kbit/s za paketski prijenos radio signala, što zapravo znači da je brzina četiri puta veća od brzine GPRS sustava, međutim stvarna moguća brzina koja se može postići doseže i vrtoglavih 400 kbit/s.

GSM EDGE primjenjuje se za: pristup elektroničkoj pošti, korištenje World Wide Web-a, kratke poruke s poboljšanim svojstvima, video usluge, slanje dokumenata i informacija, nadzor, telekonferencije i emitiranje.

EDGE je osobito primamljiv GSM mrežama koje rade na frekvencijama od 900, 1800 i 1900 MHz koje nemaju licencu za korištenje UMTS sustava, što mobilnim operaterima omogućava opstanak na tržištu.

Istraživanjem koje je provedeno u siječnju 2009. godine, ustanovljeno je da se GSM EDGE mrežama koristi 413 mobilnih operatera u 177 zemalja svijeta.[16]

2.6.5. 3G

3G, treća je generacija razvoja radiomobilne telefonije. Generacija je uvedena 1998. godine na inicijativu EU. Brzine prijenosa podataka moguće u ovoj generaciji kreću se do 14.4 Mbit/s za download i 5.8 Mbit/s za upload podataka.

Razvojem novih standarda, prijenosom podataka sada mogu biti obuhvaćene slike u pokretu, televizija te druge napredne multimedijske usluge s većim stupnjem sigurnosti od prethodne generacije.

Treća generacija radiomobilne telefonije ima misiju – povećanje rasta i opsega mobilne telefonije te ujedno i omogućavanje raznih novih aplikacija koje su do prije bile nedostupne.

Ciljevi treće generacija razvoja radiomobilne telefonije su: osobna pokretljivost te prijenos govora, podataka i multimedije, komutacija paketa i vodova, brzine do 2 Mbps u zatvorenim prostorima, korištenje simetričnog i asimetričnog prijenosa, integracija u fiksnu telefonsku mrežu, povezanost sa sustavima 2G generacije, visoka spektralna djelotvornost i visoka kvaliteta govora.

CDMA2000¹ je jedan od standarda koji čini prekretnicu u razvoju mobilne tehnologije iz 2G u 3G. CDMA2000 koristi CDMA tehnologiju višestrukog pristupa s pristupnim kodom. To je digitalna radiomobilna tehnologija pri kojoj svaki kanal ima svoj jedinstveni kod. CDMA2000 oslanja se na starije CDMA standarde (CDMA IS – 95) razvijenog od strane *Qualcomm-a*. Inačice standarda, kao što su, CDMA2000 1x RTT, CDMA2000 EVDO i CDMA2000 EV – DV koriste se za radijske sustave nakon što su odobrene od ITU organizacije (Internacionalne telekomunikacijske unije), kao nasljednici standarda CDMA IS – 95.

CDMA2000 1x RTT predstavlja temelj bežičnog standarda CDMA2000. Standard korisnicima nudi istu frekvenciju za prijenos kao i stariji CDMA IS – 95, ali gotovo duplji

¹ Najpoznatiji standard 3G generacije

kapacitet kanala jer ima dodatna 64 kanala za prijenos podataka. Ovim standardom omogućeno je bolje korištenje usluga prijenosa podataka kao i kontrola pristupa.

CDMA2000 3x inačica je CDMA2000 standarda koja nudi sljedeća poboljšanja: Brzinu do 4.9 Mbit/s po jednom korisniku, pri čemu ga istovremeno mogu koristiti maksimalno tri korisnika s najvećom mogućom zajedničkom brzinom od 14.7 Mbit/s. Korištenje višestrukih kanala za prijenos s ciljem zadovoljstva korisnika te ujedno mogućnost gledanja visokokvalitetnih videa. Koristi statističko multipleksiranje. Dulje je vrijeme razgovora, kao i vrijeme čekanja te manje smetnje.

CDMA2000 EVDO često se koristi kao radiomobilni standard za bežični prijenos podataka. Koristi CDMA i TDMA (višestruki pristup s dijeljenjem vremena) tehnike multipleksiranja s ciljem povećanja propusnosti cijelog sustava. Standard se ponajviše koristio kod mobilnih operatera koji su se oslanjali na CDMA tehnologiju. Najveći korisnik sustava, satelitska je, telefonska mreža Globalstar.

Drugi najpoznatiji standard iz ove generacije je UMTSa (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*) čiji je razvoj započeo 1992. godine kada su određene frekvencije na kojima će se sustav koristiti. Prva UMTS mreža puštena je u optjecaj u Norveškoj 2002. godine.

Javnosti je poznat pod navedenim imenom pretežno na području Europe, dok ga izvan nje možemo pronaći i pod imenima WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) i FOMA (engl. *Freedom of Mobile Multimedia Access*). Hrvatskoj javnosti pretežno je poznat kao opći pokretni telekomunikacijski sustav.

UMTS² je sustav treće generacije razvoja radiomobilne telefonije koji nudi širokopojasnu digitalnu komunikaciju radio signalima namijenjen korištenju internetom, multimedijom, videom i drugim naprednim aplikacijama.

UMTS se koristi WCDMA zračnim sučeljem i GSM infrastrukturom. Brzine koje se postižu kreću se oko 384 kbps što je dvostruko brže nego u GSM EDGE mrežama i čak četiri puta brže od klasične GPRS tehnologije.[16]

UTRAN³, odnosno radijska pristupna mreža u sebi sadrži pokretne stanice, bazne postaje i radio sučelje među njima, pri čemu se mreža ne spaja samo na bazne stanice nego ujedno daje i izlaze prema drugim mrežama poput ISDN-a i interneta. Sve bazne stanice rade na istoj frekvenciji. Frekvencije se najčešće koriste hijerarhijski, tako da prvo pravo za

² Standard 3G generacije uveden nakon CDMA2000

³ UMTS Terrestrial Radio Access Network

korištenjem dobivaju makroćelije, a tek na kraju pikoćelije. Snage susjednih baznih postaja moraju se uskladiti da bi se interferencija držala u dozvoljenim okvirima.

Povećanje kapaciteta kanala kod UMTS mreža nije moguće povećanjem broja kanala. Brzina prijenosa podataka smanjuje se s povećanjem udaljenosti od bazne stanice. Ukoliko postoje operateri koji imaju postojeću GSM mrežu preporuča se da UMTS mrežu postavi na gusto naseljena urbana područja, dok na ostalim manje naseljenim područjima ostavi stariju GPRS ili EDGE mrežu.

UMTS sustav nudi slijedeće usluge korisnicima: prijenos glasa, prijenos videa, korištenje multimedije i videa na zahtjev, pristup internetu, igranje mrežnih igrica, pristup bazama podataka, osobno sučelje i lokacijski bazirane servise, alternativne načine obračuna, elektroničko bankarstvo, čitanje i prijem elektroničke pošte, SMS, MMS i skidanje podataka i kontinuiranu povezanost.

WCDMA najpoznatija je tehnologija UMTS standarda. Razvila ju je tvrtka Ericsson. Ona se koristi DS – CDMA tehnologijom i parom kanala od 5 MHz. WCDMA upotrebljava tehnike promjenjive brzine prijenosa i nudi višestruke istodobne usluge u jednom terminalu. Ova tehnika također omogućuje puno bolju iskoristivost radijskog spektra što povećava kapacitet. Kao rezultat toga u 3G, a uz pomoć WCDMA bit će moguće paralelno korištenje nekoliko govornih, video i podatkovnih usluga u isto vrijeme.[16]

WCDMA se ponajviše koristila u Europi i Aziji s time da je potrebno naglasiti da je nekompatibilna sa GSM mrežama.

HSDPA⁴ razvio se iz WCDMA sustava s kojim je kompatibilan. Koristi se istom arhitekturom kao i UMTS mreža. Korisnicima nudi znatno brži, jeftiniji a ujedno i učinkovitiji prijenos podataka te ujedno manje vrijeme odaziva kod različitih multimedijskih i drugih interaktivnih sadržaja. Također, korisnicima se nude širi UMTS kanali za promet silaznom vezom zajedno s postojećim fizičkim i logičkim kanalima.

Popularnost HSDPA tehnologije leži u tome što se uvodi uspješna tehnika ponovnog slanja podataka. Sama integracija HSDPA sustava u postojeće mreže zahtjeva znatne promjene na fizičkom sloju i promjenu MAC sloja.

Korištenjem HSDPA tehnologije moguće su tri vrste prometa:

- Klasa A namijenjena je prometu govorom i drugim sličnim uslugama s kašnjenjem manjim od 5 ms
- Klasa B namijenjena je prijenosu glasom i videom s kašnjenjem do 15 ms

⁴ *High Speed Downlink Packet Access*

- Klasa C namijenjena je za prijenos podataka nedefiniranih brzina i kašnjenja.

HSDPA tehnologija nudi operaterima sa UMTS / WCDMA mrežnim tehnologijama značajna unapređenja u vidu brzine prijenosa podataka i implementacije novih usluga te poboljšanja već postojećih (strujeći video, mobilno pretraživanje interneta) koje obogaćuju i olakšavaju korisnikov poslovni, privatni i život u pokretu uz minimalne zahvate i promjene na UMTS / WCDMA mreži.

Integracijom HSDPA u UMTS mreže omogućena je brzina prijenosa do 1.8 Mbit/s u silaznoj vezi posredstvom QPSK modulacije i do 3.6 Mbit/s posredstvom 16 QAM modulacije koja nudi znatno veće brzine u boljim uvjetima prijenosa, brzina do 384 kbit/s kod prometa ulaznom vezom te do 16 korisnika u jednoj ćeliji.

2.6.6. 4G

Mobilna telefonija jedna je od najrazvijenijih podsustava u telekomunikacijama. Na temeljima trenutnih trendova, broj mobilnih uređaja će nadvisiti broj osobnih računala koja su danas povezana na Internet.

Uspješni razvoj novih tehnologija drastično smanjuje cijenu proizvoda prethodnih generacija, što je jako dobra vijest za potrošača nižeg imovinskog stanja.

Što se tiče 3.5 G, odnosno 4 G koje spadaju u novije generacije radiomobilne telefonije, prema standardima koje donosi WWRF (engl. *Wireless World Research Forum*) nove tehnologije se primjenjuju na područjima ITU, UMTS, ETSI⁵, 3GPP⁶, 3GPP2⁷ i drugim područjima zahtijevaju sljedeću standardizaciju: nove i modernije naprave kao i njihovu primjenu i razumijevanje, primjenu tehnike i tehnologije koja će u budućnosti prepoznati ljudska osjetila te njihovu prilagodbu ljudskim potrebama, tj. razvoj uređaja s ljudskim karakteristikama (umjetna inteligencija).

Četvrta generacija radiomobilne telefonije, skraćeno 4 G, omogućuje: visok kapacitet mreže, brzine do 100 Mbps korisnika u pokretu i do 1 Gbps u stanju mirovanja, brzine veće od 100 Mbps između bilo koja dva korisnika na Zemlji, visoku kvalitetu usluga (MMS, digitalna televizija, HDTV), komutaciju paketa i druge poboljšane usluge u odnosu na prethodne generacije radiomobilne telefonije. [14]

⁵ *European Telecommunications Standards Institute*

⁶ *3rd Generation Partnership Project*

⁷ *3rd Generation Partnership Project 2*

Razvoj ovakvih tehnologija omogućava: olakšavanje komunikacije odnosno bržu komunikaciju između korisnika na udaljenim mjestima, povećao bi kvalitetu usluga koje se pružaju, količina prenesenih informacija udvostručila bi se u odnosu na prethodnu generaciju, korištenje novih sučelja, racionalnije iskorištenje energije, jaču kontrolu pristupa, novi sustav bežične mreže, bolje operacijske sustave, rast integracije itd.

Osnovni predstavnici ove generacije su unaprijeđeni HSDPA odnosno HSUPA i Flash OFDM.

HSUPA (engl. *High Speed Uplink Packet Access*) je tehnologija pretežno nastala na temelju HSDPA tehnologije. Ovu tehnologiju neki smatraju dio 3.75 G, a neki 4 G. Poboljšanja koja nudi vezana su uz brzine do 7.2 Mbit/s u silaznoj vezi i do 5.6 Mbit/s u uzlaznoj vezi, poboljšanje broja korisnika u jednoj ćeliji na 32. Pristupna je dinamička alokacija kodova uz moguće korištenje 10 – 15 kodova. Koriste se još neviđene aplikacije i nadograđene stare, manje je vrijeme čekanja, brza dodjela pristupa. Moguć je odabir željenog profila usluga. [14]

HSUPA ujedinjuje prednosti UMTS – široku pokrivenost mreže i velik broj aplikacija. Osobitu prednost HSUPA dobiva na temelju lokalne radio mreže i WLAN – a s jeftinim širokopoljnim internetom.

Slično kao i prethodna tehnologija HSDPA iz koje je HSUPA izvedena, brzinu povećava stalnom i dobrom kontrolom pri čemu brzine povećava korisnicima koji se nalaze i područjima dobrih radio uvjeta, a smanjuje brzina onima koji nemaju dobre radio uvjete.

Kod samog transportnog sloja uvedena su značajna poboljšanja u odnosu na HSDPA tehnologiju koja definira 3 klase prijenosa, dok HSUPA uvodi 4.klasu, odnosno D klasu čije su osnovne karakteristike: tolerantnost, manji prioritet od C klase te prijenos prometa neodređene brzine.

Flash OFDM (engl. *Fast Low-latency Access with Seamless Handoff Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) u cijelosti je tehnologija zasnovana na IP tehnologiji. Njezine osnovne karakteristike su:

- Sjedinjenje dizajna svih slojeva i optimizacija datoteka svih IP slojeva
- Fleksibilna arhitektura i izgradnja mreže.
- Brza interakcija zbog efikasnog transportnog sloja s podržanom uslugom VOIP
- Mali troškovi – planiranja, izgradnje i održavanja.

3GPP LTE (engl. *Long Term Evolution*) jedna je od najnovijih tehnologija radiomobilne telefonije zasnovana na širokopoljnom pristupu internetom. U suštini 3GPP

LTE dolazi iza već dobro poznatih tehnologija, HSDPA i HSUPA, i predstavlja jednu od tehnologija koje će se koristiti u skoroj budućnosti.

Sam razvoj 3GPP mreža, u koju su uključeni WCDMA, HSDPA, HSUPA i LTE započeo je krajem 2004. godine. Sama primjena 3GPP LTE tehnologije krenula je tokom 2010. godine.

Novosti koje LTE tehnologija nudi vezane su uz: brzinu do 100 Mbit/s za download i 50 Mbit/s za upload podataka; do 200 korisnika po jednoj ćeliji; podržavanje E-MBMS⁸; fleksibilnost frekvencijskog opsega - 1.25 do 20 MHz.

LTE nastoji poboljšati učinkovitost prijenosa, smanjiti troškove, nuditi nove i poboljšane usluge, omogućiti visoke brzine prijenosa uz neznatna kašnjenja, jednostavnu arhitekturu s otvorenim sučeljima.

Kao osnovne prednosti LTE tehnologije navode se [16]:

- Visoka propusnost kanala za prijenos podataka
- Relativno nisko kašnjenje
- Visok stupanj interakcije
- Uključenost FDD⁹ i TDD¹⁰ tehnologija i
- Minimalni troškovi uz krajnje zadovoljstvo korisnika.

2.6.7. 5G

Nakon LTE mobilnih mreža nastala je inicijativa za razvoj pete generaciji mobilnih mreža, koje će omogućavati znatno veće brzine prijenosa podataka od korisnika prema stanici i obratno. Uz to očekuje se da će 5G mreže omogućiti spajanje do milijun uređaja na jednom kvadratnom kilometru.

Mreže iz ove generacije omogućuju do 10 Gbps stvarne brzine, maksimalnu 1 milisekundu kašnjenja, 1000 puta veći bandwidth, do 100 puta veći broj povezanih uređaja od ranijih LTE mreža, 100 % pokrivenost, 90 % dostupnost, 90 % smanjenje energije, do deset godina trajanje baterija za uređaje. „Tamo negdje 2012 godine izravni stream putem YouTubea iziskivao je smanjivanje rezolucije na 320 ili čak 240p da bi bio gledljiv i bez zapinjanja, a sada sasvim normalno možemo stremati HD ili čak 4K ako se nalazimo u području dobre pokrivenosti signalom. Osim brzine, 5G mreže donose i veći broj kanala.

⁸ *Enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service*

⁹ Multipleksiranje s podjelom frekvencija

¹⁰ Multipleksiranje s podjelom vremena

Svrha ovoga je povećanje kapaciteta i omogućavanje povezivanja 10 do 100 puta više uređaja, budući da se 5G tehnologija dobrim dijelom oslanja na IoT, dakle razne male uređaje koji će također biti povezani na internet.“ [15]

Istraživanja pokazuju da bi na mobilne mreže pete generacije do 2025. godine trebalo biti spojeno više od 2,5 milijardi korisnika. [3]

2.7. WiMAX

WiMAX (engl. *World Wide Interoperability for Microwave Access*) je jedna od najnovijih tehnologija za širokopojasni pristup internetu a poznata je i pod nazivom 802.16. Samu tehnologiju stručnjaci su počeli razvijati 1999. godine kada je izašla početna verzija WiMAX standarda koja je koristila frekvenciju između 10 i 66 GHz. Već druga verzija, 802.16a koristi nešto uže frekvencijsko područje od 2 – 11 GHz.

2004. godine izlazi verzija 802.16d koja je nudila čitav niz poboljšanja prvenstveno u vidu komunikacije.

Verzija 802.16e rješava problem mobilnosti krajnjeg korisnika, i to sve do brzina od 110 do 130 km/h, kao i asimetrično sučelje za prijenosna računala i komunikatore, koje će im omogućiti izravnu povezanost, pomoću ugrađene mrežne kartice, s WiMAX mrežom

Kada je tehnologija po prvi puta predstavljena javnosti smatralo se da će se ona koristiti samo za prijenos podataka i govora bežičnim putem, te da će je moći koristiti privatni i poslovni korisnici.

WiMAX tehnologija omogućava prijenos velikim brzinama do 70 Mbps zbog korištenja velikog kapaciteta kanala do 20 MHz, na udaljenostima do 50 km.

WiMAX tehnologija osobito je popularna u rjeđe naseljenim područjima gdje operatorima nije isplativo postavljati druge skuplje tehnologije, dok primjena WiMAX tehnologije u gradski područjima nije imala isti intenzitet kao u ruralnim.

3. Pregled Wi-Fi infrastrukture

WLAN je bežična lokalna mreža, odnosno LAN mreža koja se temelji na bežičnom prijenosu podataka. Dio WLAN-a je Wi-Fi i svi njegovi standardi iz grupe standarda IEEE 802.11.

WLAN čine pristupne točke i više korisnika koji se povezuju u jednu grupu putem žičane veze ili bežične veze. Ujedno je moguće povezivanje s drugim mrežama pomoću usmjerivača koji u sebi ima pristupnu točku i mrežni preklopnik (*switch*).

3.1. Wi-Fi

Wi-Fi je usluga koja se temelji na IEEE 802.11 standardu koji potječe iz 1997. godine. Navedena verzija raspolagala je s frekvencijom od 2.4 GHz.

Uređaji koji se spajaju na Wi-Fi bežičnu mrežu trebaju u sebi imati ugrađenu bežičnu mrežnu karticu. Takvi uređaji su pristupne točke i klijenti. Kroz pristupne točke pri tome se spajaju klijenti, vrši se komunikacija između dva ili više klijenata, upravlja se slanjem podataka, itd. Klijenti predstavljaju sve uređaje koji imaju mogućnost spajanja na Wi-Fi mrežu kao što su stolna i prijenosna računala, mobiteli, televizori, pametni satovi, virtualne kamere i drugi uređaji u sebi imaju integriran standard 802.11 za povezivanje na Wi-Fi mrežu.

Kroz godine standard se razvijao pa tako danas na tržištu postoje u nastavku opisani standardi.

3.1.1. Razvoj IEEE 802.11 standarda

IEEE 802.11a koji je razvijen u rujnu 1999. godine. On koristi frekvenciju od 3.7 GHz i 5 GHz uz maksimalnu propusnost od 20 MHz. Standard je pogodan za korištenje u uredima pri čemu se mogu postići brzine do 54 Mbps. Signal temeljen na ovom standardu ima domet 35-125 metara kada se koristi frekvencija od 5GHz, odnosno do 5 kilometara kada se koristi frekvencija od 3.7 GHz.

IEEE 802.11b također je razvijen u rujnu 1999. godine. Ovdje se postižu brzine do 11 Mbps, uz moguće padove do 1 Mbps kod radne frekvencije od 2.4 GHz i propusnosti 22

MHz. Domet signala je od 35-140 metara uz već smetnje koje nastaju na navedenoj frekvenciji.

IEEE 802.11g je razvijen 2003. godine. Ovaj standard omogućuje brzine prijenosa do 54 Mbps. Radna frekvencija nije se mijenjala u odnosu na 802.11b standard dok maksimalna propusnost 20 MHz. Domet signala je od 38-140 metara. [4]

IEEE 802.11n standard razvijen je 2009. godine te predstavlja novitet u mogućnosti korištenje višestrukih wireless antena za slanje i primanje signala. Maksimalna propusnost kod ovog standarda povećana je na 40 MHz, dok maksimalna brzina prijenosa iznosi 300 Mbps. Došlo je također i do povećanja dometa od 75 do 250 metara.

IEEE 802.11ac standard razvijen je u prosincu 2013. godine. Frekvencija koja se kod ovog standarda koristi je 5 GHz, dok je propusnost podijeljena na sektore 20-40-80-160 MHz uz različite brzine prijenosa. Brzina prijenosa signala kod propusnosti od 20 MHz je 96.3 Mbps dok kod propusnosti od 160 MHz može iznositi do 866.7 Mbps što je gotovo tri puta više od brzine prijenosa kakva se postiže kod 802.11n standarda. Uz to ovaj standard ima znatno veću pokrivenost te korištenje više klijentskog prijenosa. Domet signala je 35 metar za unutarnje Wi-Fi mreže te neograničeni raspon za vanjske Wi-Fi mreže.[4]

3.1.2. Prednosti i nedostaci Wi-Fi mreže

Prednosti Wi-Fi mreže su sljedeće:

- Dostupnost – bežična mreža omogućuje svojim korisnicima pristup mrežnim resursima s bilo kojeg područja koje je pokriveno bežičnom mrežom.
- Mobilnost – korisnici bežičnih mreža nisu strogo vezani uz okolinu gdje se nalazi njihov Wi-Fi, već se korisnici vrlo jednostavno mogu spojiti i na druge Wi-Fi mreže u svojoj okolini, npr. u kafićima ili trgovinama
- Produktivnost – Wi-Fi bežična mreža omogućuje veću radnu produktivnost, s obzirom da se korisnik može gotovo s bilo kojeg mjesta koje ima pristup Wi-Fi mreži, spojiti na mrežne resurse vlastite Wi-Fi mreže i na njima radi
- Jednostavno instaliranje – bežična mreža zahtjeva minimalne troškove prilikom instalacije, u odnosu na klasične LAN mreže kod kojih se prijenos signala vrši preko žice.

- Jednostavno uključivanje novih korisnika – bežična mreža omogućuje spajanje novih korisnika na vrlo jednostavan način upisom pripadajuće lozinke, bez nepotrebnih komplikacija koje bi postojale spajanjem na žičnu mrežu spajanjem kroz kablove.

Osnovni nedostaci Wi-Fi mreže su:

- Sigurnost – nastoji se ostvariti kroz dostupne tehnologije šifriranja, iako se i one mogu ugroziti od strane iskusnih informatičara
- Određeni standardi Wi-Fi mreže imaju izuzetno male domete signala, što zapravo znači da se kod većih građevina trebaju postaviti repetitori ili dodatne pristupne točke, čime se direktno utječe na porast troškova takve mreže.
- Kroz Wi-Fi mrežu mogu se vrlo jednostavni slati virusi i druge vrste računalnih prijetnji na koje administratori ne mogu odmah reagirati
- Brzina još uvijek znatno zaostaje za klasičnom brzinom koja se postiže kroz prijenos signala žičnim mrežama gdje se ostvaruje do nekoliko Gbps.

3.2. Fi-Wi

Fi-Wi (engl. *Fiber Wireless*) novi je koncept u području internetskih tehnologija, koji koristi kombinaciju optičkog prijenosa i bežičnih tehnologija za prijenos signala. Navedena hibridna arhitektura omogućuje postizanje iznimno velikih brzina prijenosa, većih od 1 Gbps u odnosu na ranije opisane standarde, gdje je u pogledu brzine prijenosa bio najpogodniji 802.11ac standard.

Arhitekturu Wi-Fi sustava čini središnja stanica koja je povezana s većim brojem baznih stanica putem optičke mreže. Razlika u odnosu na klasični Wi-Fi je u tome što se procesiranje signala vrši na stranici središnje stanice, a ne kod baznih stanica kako je bio slučaj u Wi-Fi mrežama. Uslijed toga, smanjuje se potreba za dizajniranjem kompleksnih baznih stanica, s obzirom da je njihova uloga drastično smanjena u odnosu na klasični Wi-Fi uslijed čega dolazi i do smanjenja troškova izgradnje takve mreže.

Osnovne prednosti pred Wi-Fi mrežom su: manja slabljenja signala kod prijenosa optičkim putem, velika propusnost mreže, jednostavna instalacija, manji troškovi, manje vremena potrebnog za održavanje itd.

Wi-Fi se prije svega primjenjuje u unutarnjim mrežnim sustavima, gdje postoji veliki broj korisnika koji se spajaju na mrežu. Osim toga moguće je korištenje i u vanjskim mrežnim sustavima, gdje se ova tehnologija najviše koristi u sustavu autocesta - za naplatu cestarine.

3.3. WiFi4EU

WiFi4EU¹¹ je projekt Europske unije kojem je cilj da svi građani i posjetioци država članica Europske unije imaju pravo na besplatan pristup bežičnom Internetu na javnim površinama i zgradama. Takve bežične mreže trebali bi iznositi najmanje 30 Mbps, dok bi brzina posredničke mreže trebala biti barem na razini koju općina ili poduzeće ima na svojoj internoj razini.

Sam projekt nastao je kao odgovor na Digitalni program za Europu, kao temeljnom dokumentu strategije Europske unije kojom se naglašava koliko je osposobljavanje širokopojasnog Interneta važno za poticanje socijalne uključenosti i konkurentnosti u Europskoj uniji. Digitalnim programom za Europu postavljeni su sljedeći ciljevi u pogledu širokopojasnog pristupa internetu [11]:

- Osnovna dostupnost širokopojasnog interneta za 100 % građana EU-a,
- Brzi širokopojasni internet do 2020., odnosno dostupnost širokopojasnog interneta brzine od najmanje 30 Mbps za 100 % građana EU-a
- Vrlo brzi širokopojasni internet do 2020, što znači da bi do 2020. 50 % europskih kućanstva trebalo bi biti pretplaćeno na internetsku vezu s brzinom prijenosa većom od 100 Mbps.

Priključivanje projektu moguće je i za već postojeće javne mreže uz zadovoljavanje tehničkih uvjeta propisanih od strane Europske unije kako se ne bi mijenjale tehničke karakteristike mreže koje su dio projekta.

Proračun navedenog projekta je 120 milijuna eura za razdoblje 2017-2019. godine. Očekuje se da bi ovim projektom do kraja njegovog trajanja trebalo biti obuhvaćeno 8000 lokalnih zajednica.

¹¹ WiFi4EU - *Free WiFi for Europeans*

3.4. Razvoj Wi-Fi-a u Europi i svijetu

U tablici 1. su prikazane frekvencije i kanali ovisno o standardu o kojem je riječ, te su u tablici 2. ispod prikazane brzine prijenosa podataka ovisno o tome o kojem je standardu riječ.

Tablica 1. Frekvencije i kanali WiFi standarda¹²

Standard	Frekvencije	Kanali
IEEE 802.11a	5,15 GHz do 5,725 GHz	Kanali: 19, u Europi sa Transmission Power Control i Dynamic Frequency Selection prema 802.11h standardu.
IEEE 802.11b	2,4 GHz do 2,4835 GHz	Kanali: 11 u USA / 13 u Europi / 14 u Japanu.
IEEE 802.11g	2,4 GHz do 2,4835 GHz	Kanali: 11 u USA / 13 u Europi / 14 u Japanu.

Tablica 2. Brzina prijenosa podataka i frekvencije WiFi standarda¹³

IEEE 802.11	2 Mbps maksimalno
IEEE 802.11a	54 Mbps maksimalno (108 Mbps kod 40 MHz širokog pojasa)
IEEE 802.11b	11 Mbps maksimalno (22 Mbps kod 40 MHz širokog pojasa, 44 Mbps kod 60 MHz širokog pojasa)
IEEE 802.11g	54 Mbps maksimalno (g+ = 108 Mbps, do 125 Mbps moguće; 2 Mbps u miješanom stanju (g+b) sa IEEE 802.11b)
IEEE 802.11h	54 Mbps maksimalno (108 Mbps kod 40 MHz širokog pojasa)
IEEE 802.11n	300 Mbps maksimalno (Upotreba MIMO – Tehnike; Prijedlog objavljen 20.01.2006.; Draft 2.0 objavljen kao novi prijedlog 19.03.2007.)

¹² [novointel.hr > dokumenti > WLAN_DOC](http://novointel.hr/dokumenti/WLAN_DOC) (pristup 30. 8. 2019)

¹³ [novointel.hr > dokumenti > WLAN_DOC](http://novointel.hr/dokumenti/WLAN_DOC) (pristup 30. 8. 2019)

3.5. Osnovne komponente Wi-Fi strukture

Osnovne komponente Wi-Fi strukture su pristupne točke, bežični mostovi, bežični klijentski uređaji, bežični *gatewayi* i antene. Svaki od njih zajedno bit će opisani tijekom ovog poglavlja, zajedno s radnim frekvencijama koje se u prijenosu signala koriste te samom kvalitetom signala.

3.5.1. Pristupne točke

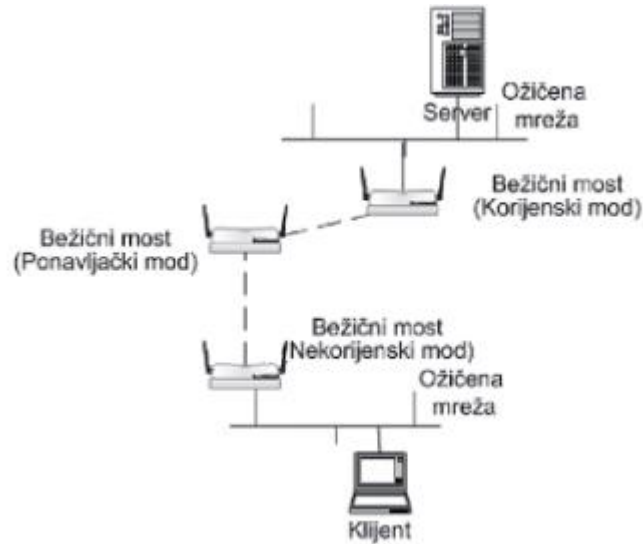
Pristupne točke (engl. *Access Point*, kratica AP) služe za uspostavljanje bežične lokalne mreže na određenim lokacijama. Pristupne točke povezuju se mrežnim kablom na postojeću mrežu ili direktno na internet. Pristupne točke za domaću upotrebu trebaju imati sljedeće funkcionalnosti [8]:

- kompatibilnost s internetskim usmjerivačem kako bi se uređaji mogli povezati
- Jednostavno korištenje preko web sučelja i asistenata
- Po standardu već optimalno podešene sigurnosne postavke
- WPA2 podrška za veću sigurnost
- Bežični standard mora biti kompatibilan s uređajima koji se povezuju s WLAN-om
- Moguć WDS način za lako postavljanje
- Moguće priključenje daljnjih uređaja.

Pristupne točke u Wi-Fi mreži imaju funkciju komuniciranja s drugim pristupnim točkama drugih mreža, bežičnim klijentima postojeće Wi-Fi mreže kao i komunikacijskim mrežama koje se ostvaruju preko klasičnog žičanog prijenosa. Zbog toga pristupne točke rade u tri moda i to: korijenski mod, most mod i ponavljački mod. Standardne mreže pri tome rade u korijenskom modu koji se koristi „u slučajevima kad je pristupna točka povezana s ožičenom mrežnom osnovnicom preko svoga žičanog, obično *Ethernet* sučelja. Pristupne točke u korijenskome modu rada koje su povezane na isti ožičeni distribucijski sustav mogu komunicirati međusobno preko ožičenog segmenta. Pristupne točke komuniciraju međusobno radi koordiniranja *roaming* funkcija [12].

3.5.2. Bežični mostovi

Bežični most djeluje kao pametni ponavljač te povezuje mrežne segmente u sloju podatkovne veze. Na slici 2 je prikazan bežični most u ponavljačkom modu rada.



Slika 2. Bežični most u ponavljačkom modu rada [12]

U svakoj grupi treba postojati barem jedan korijenski bežični most koji ima sposobnost komunikacije s drugim nekorijenskim mostovima i klijentskim uređajima, ali pri tome ne može uspostaviti komunikaciju s drugim korijenskim mostom. Mostovi koji se nalaze u nekorijenskom modu rada spajaju se na korijenski most. Nadalje, kada se mostovima omogućuje da se spajaju s klijentima, mostovi dobivaju funkciju pristupnih točaka. Posljednja mogućnost rada bežičnog mosta je ponavljački mod gdje se između korijenskog i nekorijenskog mosta postavlja dodatni bežični most kako bi se omogućila veća pokrivenost mrežom, ali se ujedno smanjuje propusnost takve mreže.

3.5.3. Bežični klijentski uređaji

Osnovni dijelovi Wi-Fi arhitekture su i bežični korisnički uređaji koji predstavljaju uređaje krajnjeg korisnika koji se spajaju na bežičnu mrežu. To mogu biti stolna računala, laptopi, mobiteli, tableti, bežični telefoni, bežični printeri, pametni televizori, pametne kamere, pametni satovi i drugi uređaji koji imaju ugrađene mrežne kartice ili imaju odgovarajuće adaptere i konvertore za spajanje na mrežu.

PCMCIA kartice su pri tome najviše korišteni bežični klijentski uređaji koji se koriste na uređajima. Takve kartice osiguravaju vezu između klijenata i mreže te „služe kao modularni radio – uređaji u pristupnim točkama, mostovima, mostovima za radne grupe, USB adapterima, PCI i ISA adapterima ili čak serverskim printerima. Antene na karticama razlikuju se ovisno od proizvođača. Neke su male, ravne i fiksirane, dok su druge nefiksirane i spojene na karticu kratkim kablom. Neke se isporučuju s višestrukim antenama.“[12]

Druga vrsta bežičnih klijentskih uređaja su *Compact Flash* kartice koje za pohranu koriste *flash* memoriju. Njihov način rada isti je kao i kod PCMCIA mrežne kartice samo što su *flash* kartice manje, zahtijevaju manje energije i koriste se na manjim uređajima koji imaju mogućnost spajanja na bežičnu mrežu.

USB adapteri su izuzetno popularni za spajanje na mrežu, prije svega zbog svoje jednostavnosti, s obzirom da u sebi imaju ugrađene sve funkcionalnosti koje su potrebne za spajanje računala na bežičnu mrežu.

„Bežični PCI i ISA adapteri instaliraju se unutar desktop ili serverskog računala. Bežični PCI uređaji su *plug-n-play*, ali mogu doći kao prazne PCI kartice i zahtijevati umetanje PC kartice u PCMCIA utor prije nego se PCI kartica instalira u računalo. Bežične ISA kartice najčešće nisu *plug-n-play* i zahtijevaju ručno konfiguriranje. Proizvođači obično isporučuju odvojene drivere za PCI/ISA adaptere i PC kartice koje se umeću u njih. Preporučljivo je korištenje opreme istog proizvođača i za PCI/ISA adaptere i za PC kartice.“[12]

3.5.4. Bežični gatewayi

Bežični *gatewayi* su uređaji koji omogućuju spajanje većeg broja klijenata na modem u svrhu spajanja na mrežu. Pristupne točke i bežični *gatewayi* danas se ugrađuju u jedan funkcionalni uređaj tako da im se ugrađuje preklopnik koji ima funkciju pristupne točke. Bežični *gatewayi* danas imaju više funkcionalnosti te tako rade kao centralni pristupni uređaji koji predstavljaju sučelje za govorne i faks usluge, internet i internetsku televiziju.

Bežični *gatewayi* koriste se i u komercijalne svrhe pri izgradnji velikih bežičnih lokalnih mreža kroz koje se mogu ograničavati brzine, definirati kvaliteta usluge i upravljati profilima. Takve mreže moraju imati snažna centralna računala s brzim sučeljima koja podržavaju spajanje više pristupnih točaka.

3.5.5. Antene

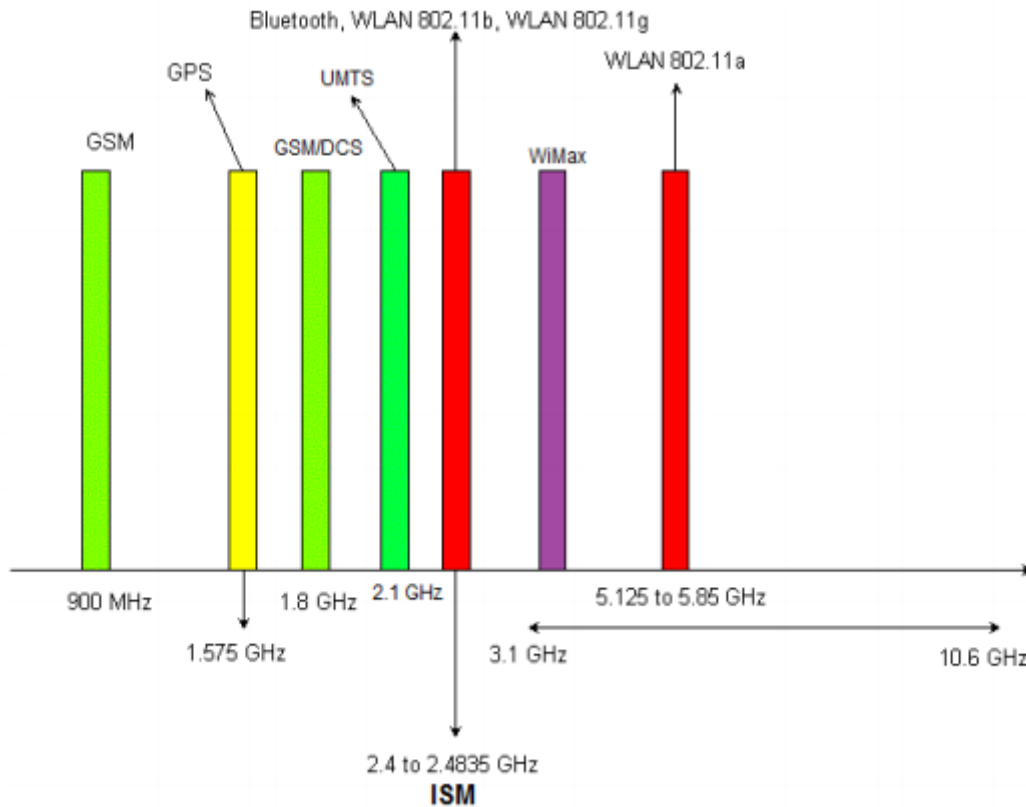
Antena su uređaji koji pretvaraju elektromagnetske valove koji se šalju kroz medije za prijenos i šire u radio-frekvencijske valove u zraku. Antene se najčešće koriste kako bi se povećalo područje dohvata Wi-Fi mreže za takve radiovalove. Antene pri tome ne pojačavaju signal. Već ga oblikuju na način da umanjuju gubitke.

Osnovne antene koje se koriste u Wi-Fi mrežama su:

- Dipol antene koje se nalaze na svim pristupnim točkama. One svoju energiju nastoje svesti na užu zraku kojom zrače u krugu od 360° osim u smjeru same žice, zbog čega se stvara oblik krafne. Ovakvim antenama dohvaća se veliko područje pokrivanja na horizontalnoj razini, dok je vertikalna razina ovdje zanemarena. Stoga se takve antene koriste u slučajevima kada je potrebna velika pokrivenost oko jedne centralne točke. Ovakve antene najbolje u zvjezdanim topologijama. Ako se koriste u otvorenim prostorima, dipol antene bi trebale biti smještene na vrhu zgrade koja bi predstavljala centralno mjesto za pokrivanje signalom. Zbog svoje vertikalne pokrivenosti, dipol antene posebno su pogodne za primjenu u skladištima i na sajmovima gdje se izlaže na jednoj vertikalnoj razini.
- Semi-direkcijske antene drugi su tip antena koje se koriste u Wi-Fi mrežama, te one usmjeravaju zrake u točno definiranom smjeru. Pogodne su za korištenje na kratkim i srednjim udaljenostima.
- Direkcijske antene koriste se na dužim udaljenostima za povezivanje zgrada koje su udaljene više kilometara bez prepreka u zračnom prostoru kako bi se uske zrake koje se šalju putem antene mogle precizno usmjeriti.

3.5.6. Korištene frekvencije

Radiovalovi koji se koriste u bežičnim mrežama mogu raditi na frekvencijama od 3Khz do 300 GHz. Frekvencija na kojoj radi svaki pojedini uređaj, ovisi o mrežnoj tehnologiji koja je u njega ugrađena. Veće frekvencije omogućuju veće brzine prijenosa signala, ali su obrnuto proporcionalne s udaljenošću između pošiljatelja i primatelja. Odnosno, s povećanjem udaljenosti, smanjuje se brzina prijenosa signala kod većih frekvencija. Na slici 3 su prikazane korištene frekvencije za prijenos signala u bežičnim mrežama.



Slika 3. Korištene frekvencije za prijenos signala u bežičnim mrežama [7]

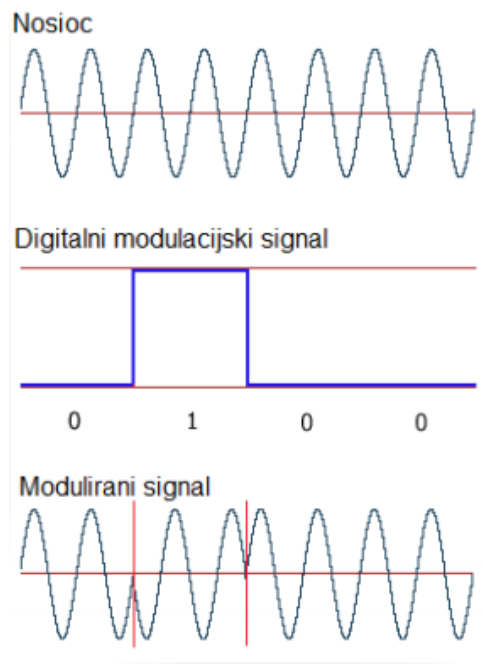
Klasični Wi-Fi pri tome radi na frekvencijama od 2.4 i 5GHz. GPS primjerice radi na manjoj frekvenciji od 1.575GHz. Prikaz frekvencijskih pojaseva prikazan je na prethodnoj slici.

Frekvencijski pojasevi se u pravilu naplaćuju, i tek je mali broj njih besplatan. Jedan takav pojas se nalazi oko 2.4 GHz i zove se ISM¹⁴ frekvencijski pojas. U Europi je taj pojas širine 83.5 MHz, a koriste ga brojne poznate bežične tehnologije poput Wi-Fi, bluetooth i kućnih bežičnih telefona. WLAN mreže koje koriste ISM pojas su poznate pod nazivom Wi-Fi, a zapravo se radi o mrežama koje se pridržavaju 802.11 b/g/n standarda. Skup normi 802.11 uključuje i 802.11a normu koja se također koristi za bežični pristup internetu, ali umjesto 2.4 GHz koristi pojas na 5GHz te nije sukladna s normama 802.11b/g/n. [7]

¹⁴ *Industrial Scientific and Medical*

3.5.7. Kvaliteta signala

Prijenos podataka između pošiljatelja i primatelja šalje se kroz signal, koji je najprije digitalni modulacijski signal a nakon toga postaje sinusni signal. Pod djelovanjem modulacije signal određuju drugačije vrijednosti amplitude, faze i frekvencije od početnog digitalnog modulacijskog signal. Na slici 4 prikazana je modulacija signala.



Slika 4. Modulacija signala [7]

Nakon postupka modulacije, nastaje modulirani signal koji se šalje. Modulacija se ne izvršava za vrijednost bita 0, dok se za vrijednost bita 1, signal nositelj mijenja, odnosno ima skok u fazi. Primjer je dan na prethodnoj slici.

Pošiljatelj signala šalje signal prema primatelju tako da emitira radiovalove u svim smjerovima, tako da neki radiovalovi do primatelja dolaze direktno, neki se odbijaju od čvrstih predmeta dok se neki izgube

Kvaliteta signala bežične mreže mjeri se u dBm i izražava se u negativnim vrijednostima tako da sljedeće vrijednosti određuju kvalitetu signala [20]:

- 30 dBm – maksimalna jačina signala u slučajevima kada se korisnik nalazi u neposrednoj blizini pristupne točke
- 50 dBm – izvrsna razina signala

- 60 dBm – dobra razina signala
- 67 dBm – pouzdana razina signala, najmanja razina signala koja je potrebna da se putem wi-fi mreže ostvari glasovni prijenos. Još uvijek su podržane usluge Voip-A i streaming videa
- 70 dBm – signal nije jak ali je još uvijek moguće sporije pregledanje web stranica i elektroničke pošte
- 80 dBm – signal je nepouzdan i njegova razina nije dovoljna za većinu usluga koje nudi mreža, često je povezivanje s mrežom
- 90 dBm – nema povezivanja s mrežom.

Na smanjenje razine signala utječu različite vrste prepreka. Najčešća prepreka je zid koji predstavlja prepreku u situacijama kada se uređaj nastoji spojiti na bežičnu mrežu preko *routera* koji se nalazi u drugoj prostoriji. Uz zid na razinu signala utječu i armirano-betonske strukture koje također predstavljaju vrlo bitan element kod mjerenja razine signala u bežičnim mrežama, prije svega u situacijama kad se *router* i uređaji ne nalaze na istom katu kuće, stana ili zgrade. Pri tome zgrade koje imaju manje zidova kroz koje trebaju proći signali, stvaraju manja prigušenja i kašnjenja signala, od prostorija gdje se router i uređaj nalaze u istoj prostoriji. U takvim situacijama dolazi do kašnjenja od 60ns. U takvim zgradama ostvaruju se brzine prijenosa signala od nekoliko Mbps. Istovremeno u zgradama s velikim brojem fizičkih prepreka znatno se smanjuje brzina signala koja postiže maksimalne vrijednosti do nekoliko stotina kbps. Na razinu signala utječe i kretanje ljudi. [1]

Osim prepreka iz okoline, na razinu signala bežične mreže utječu i radne frekvencije, uslijed čega s porastom frekvencije raste prigušenje signala, a sa smanjenjem frekvencije opada.

3.6. Korišteni standardi i slojevi TCP/IP modela kao elementi Wi-Fi mreže

Razvoj TCP/IP model započeo je 1969. godine u SAD-u kada je uspostavljena eksperimentalna mreža s prespajanjem paketa. Godine 1975. mreža ARPANET postala je operativna, a TCP/IP model je 1983. godine priznat kao vojni standard. Razvojem Interneta, TCP/IP model postaje široko prihvaćen jer je nudio sljedeće [2]:

- neovisnost o tipu računalne opreme i operacijskog sustava, te o pojedinom proizvođaču
- Neovisnost o tipu mrežne opreme ina fizičkoj razini i prijenosnog medija, što omogućava integraciju različitih tipova mreža
- Jedinstveni način adresiranja koji omogućava povezivanje i komunikaciju svih uređaja koji podržavaju TCP/IP
- Standardizirani protokoli viših razina komunikacijskog modela, što omogućava široku primjenu mrežnih usluga.

Najpoznatiji model komunikacijskih slojeva i sučelja među njima je ISO/OSI model koji se zasniva na postojanju sedam (7) slojeva i to: aplikacijskog sloja, prezentacijskog sloja, sjedničkog sloja, prijenosnog sloja, mrežnog sloja, podatkovnog sloja i fizičkog sloja.

Slojevi koji čine TCP model temelje se na sljedećim principima [6]:

- „sloj se treba stvoriti kada je potrebna nova razina apstrakcije
- Svaki sloj treba obavljati dobro definirane funkcije
- Funkcija svakog sloja treba se odabrati tako da je moguće definirati internacionalne standardizirane protokole
- Granice između slojeva trebaju biti određene tako da se smanji tok informacija križanjem sučelja.
- Broj slojeva treba biti dovoljno velik, tako da se ne javlja potreba za stavljanjem različitih funkcionalnosti u isti sloj.“

3.6.1. Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj TCP/IP modela predstavlja najviši sloj kojeg čine programi i procesi koji komuniciraju s protokolima iz nižeg transportnog sloja.

U ovom sloju podržani su sljedeći protokoli:

- FTP (engl. *File Transfer Protocol*)
- SMTP (engl. *Simple Mail Transfer Protocol*)
- HTTP (engl. *HyperText Transfer Protocol*) za pregled informacija
- SNMP (engl. *Simple Network Managemet Protocol*) za upravljanje mrežom
- DNS (engl. *Domain Name System*)
- RIP (engl. *Routing Information Protocol*)
- NFS (engl. *Network File System*)

3.6.2. Transportni sloj

Transportni sloj je sljedeći sloj u hijerarhijskoj razini TCP/IP modela, gledajući silazno, koji se brine za kvalitetu usluge, pouzdanost, protok podataka i ispravljanje grešaka. On pruža komunikacijsku potporu, uz moguće otkrivanje i otklanjanje pogrešaka prilikom prijenosa.

Ujedno je navedeni sloj, veza između aplikacijskog i mrežnog sloja na način da mrežni sloj iz zaglavlja saznaje protokol transportnog sloja kojem predaje podatke, a transportni sloj te podatke dalje prosljeđuje definiranoj usluzi aplikacijskog sloja.

U transportnom sloju podaci se mogu slati na dva načina i to:

- Kroz uspostavu logičkog kanala kojim se osigurava pouzdana isporuka podataka uz manje gubitke, manji broj grešaka te se prije svega takvi prijenos vrši kod slanja korisničkih podataka
- Bez uspostave logičkog kanala koji se primjenjuje zbog manje sigurnosti za slanje upravljačkih podataka

Najčešće korišteni protokoli transportnog sloja su:

- TCP (engl. *Transmission Control Protocol*) koji je zadužen za prijenos podataka u TCP/IP modelu. Njime se uspostavlja logičko dvosmjerno povezivanje između dva

čvora u mreži. TCP protokol dobiva podatke od aplikacijskog sloja i prosljeđuje ih dalje prema mrežnom sloju. Ima mogućnost ispravljanja pogrešaka kao što su gubitak podataka, dupliciranje podataka i oštećenje podataka. TCP protokol na temelju 16 bitnih adresa pošiljatelja i primatelja uspostavlja logičku vezu. U svakom trenutku moguće je pri tome uspostaviti samo jednu vezu. Zaglavlje protokola čine i slijedni brojevi uz pomoć kojih se prati da li je primaoc dobio sljedeći bajt u prijenosu.

- UDP (engl. *User Datagram Protocol*) koji nema mogućnost upravljanja prijenos podataka niti mehanizme za ispravljanje pogrešaka. Omogućava slanje poruka svim klijentima u mreži. U sebi sadržava adresu izvornog porta, adresu odredišnog porta, duljinu podatkovnog niza i zaglavlja u bajtovima i provjeru. Ovaj protokol bolji je za korištenje u slučajevima kada se treba poslati mali blok podataka veličine jednog paketa, pa je pri tome jednostavnije i brže prenijeti podatke korištenjem UDP protokola. Osim toga on se može vrlo dobro koristiti u aplikacijama koje same po sebi imaju definirane pouzdane prijenose podataka. S druge strane, UDP je znatno nepouzdaniji protokol od TCP/IP protokola.

Slanje uz pomoć TCP protokola vrši se uz pomoć spajanja korisnika, dok se posredstvom UDP protokola, slanje podataka vrši bez spajanja. TCP protokol podatke šalje u segmentima podataka a UDP u paketima. TCP protokol je posebno pogodan za primjenu u slučajevima kada se trebaju poslati veće količine podataka, dok je UDP pogodan za slanje manjih količina podataka koji se temelje na kratkim porukama.

3.6.3. Mrežni sloj

Mrežni sloj TCP/IP modela brine se za adresiranje i usmjeravanje podataka. Mrežni sloj uspostavlja, održava i raskida veze između pošiljatelja i primatelja, te ujedno obavlja funkcije logičkog adresiranja, razbijanja i ponovnog slaganja poruka.

Protokoli koji čine mrežni sloj nastoje korisnicu isporučiti pakete kroz mrežu sa spajanjem ili bez spajanja.

Mrežni sloj čini drugi najvažniji protokol TCP/IP modela, IP protokol, po kojem je TCP/IP model dobio i ime. Od ostalih protokola mrežnog sloja potrebno je spomenuti: Novell IPX, Apple Talk, X.25, ARP (engl. *Address Resolution Protocol*), RARP (engl. *Reverse Address Resolution Protocol*), Dynamic RARP, InARP (engl. *Inverse Address Resolution Protocol*), MLPS (engl. *Multi-Protocol Label Switching*).

IP protokol predstavlja protokol koji je zadužen za prijenos podataka, te kao takav nudi uslugu dostave paketa putem jedinstvenog globalnog adresiranja. On nudi fragmentaciju originalnih paketa i pripremu za slanje u slučaju velikih paketa.

3.6.4. Podatkovni sloj

Standardi koji su dio podatkovnog sloja zaduženi su za prijenos podataka na uređaje koji su povezani u mrežu. U TCP modelu, podatkovni sloj može u potpunosti zamijeniti fizički, podatkovni i mrežni sloj OSI modela.

Stalnim razvojem novih uređaja za pristup mreži, novi standardi iz ovog sloja moraju biti ukorak s novim uređajima.

U ovom sloju najčešće se koriste LAN i WAN standardi, te svi ostali protokoli, funkcije i procesi koji čine fizički i podatkovni sloj iz OSI modela.

Među najvažnijim svojstvima ovog modela su Ethernet, ATM i *Frame relay*.

3.6.5. Fizički sloj

Fizički sloj definira sve procedure koje su vezane uz fizičke, električne, mehaničke i funkcionalne osobine medija kojim se pristupa mreži. Standardi koji su razvijeni za ovaj sloj definiraju potrebne razine napona, oblika i strukture utičnica, oblik signala koji se prenosi, način na koji se prenosi, itd.

Fizički sloj je stoga zadužen za prijenos podataka preko fizičkog medija. Bitno za naglasiti je da se koriste različite modulacije za različite vrste fizičkih medija. Tako se kod bakrenih žica bitovi prenose kao nizovi različitih naponskih razina dok se kod optičkih medija prenose nizovi signala.

Ovdje nema mogućnosti uvida u pogreške prilikom prijenosa, već se one nastoje otkriti u slojevima više razine.

U TCP modelu ovaj sloj se smatra nultim slojem jer za njega nema posebno definiranih standarda koji se koriste. Stoga se on ni ne nalazi u klasičnom shematskom prikazu TCP modela.

4. Programski alati za mjerenje signala Wi-Fi mreže

Najpoznatiji programski alati za mjerenje signala Wi-Fi mreže su *NetStop*, *inSsider* i *EKahau* koji će biti opisani u nastavku ovog rada, s posebnim osvrtom na *EKahau* uz pomoć kojeg je napravljen praktični dio diplomskog rada. U nastavku je dan i kratak osvrt na dosadašnja istraživanja.

4.1. Osvrt na dosadašnja istraživanja

U današnjem informacijskom društvu koje svakim danom postaje sve više automatizirano i robotizirano, svakim danom se teži novim tehnologijama. Mobilne komunikacije i informacijsko komunikacijske tehnologije (ICT) intenzivno se razvijaju svakim danom i predstavljaju ključan element u navedenom procesu. U budućnosti pomoću bežičnog Interneta, međusobna komunikacija ljudi i uređaja mora biti u svakom trenutku i na svakom mjestu brza, kvalitetna i pouzdana. Međunarodna neprofitna organizacija IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) je počela još 1991. godine raditi na novom standardu kojim bi se standardizirali bežični komunikacijski sustavi i kojim bi se trebao odrediti smjer njihovog razvoja (802.11).

Dostupni su brojni radovi koji su analizirali primjenu i razine kvalitete usluga koje pruža bežična komunikacijska mreža (Kilinc, C.; Mahmud Mostafa, S.A.; Ul Islam, R.; Shahzad, K.; Andersson, K.: *Indoor Taxi-Cab: Real-Time Indoor Positioning and Location-Based Services with Ekahau and Android OS, 2014.* [21]; Luntovskyy, A.; Schill, A.: *Functionality of wireless network design tools, 2009.* [22]; Pulkkinen T.; Verwijnen, J.: *Evaluating indoor positioning errors, 2015.*). [23]

Glavni tehnološki izazovi budućnosti koje je potrebno riješiti unutar bežičnih komunikacijskih mreža su sljedeći: optimalna spektralna iskoristivost, softversko definiranje mreže, virtualizacija mrežnih funkcija, interoperabilnost u pristupnoj i jezgrenoj mreži, rekonfiguracija višemodnih mobilnih uređaja te energetska učinkovitost svih elemenata u sustavu. Nedavna istraživanja performansi dokazala su da kada dvije stanice različitih tehnologija koegzistiraju u istom frekvencijskom pojasu, LTE interferencija jako ometa rad Wi-Fi-ja (Abinader, F.M.; Almeida, E.P.L.; Chaves, F.S.; Cavalcante, A.M.; Vieira, R.D.; Paiva, R.C.D.; Sobrinho, A.M.; Choudhury, S.; Tuomaala, E.; Doppler, K.; Sousa, V.A.:

Enabling the Coexistence of LTE and Wi-Fi in Unlicensed Bands, 2014. [24]; Kudo, R.; Takotari, Y.; Hirantha Sithira Abeyssekera, B.A.; Inoue, Y.; Murase, A.; Yamada, A.; Yasuda, H.; Okumura, Y.: *An Advanced Wi-Fi Data Service Platform Coupled with a Cellular Network for Future Wireless Access, 2014.*) [25]. Od budućeg Wi-Fi-ja očekuje se da bude gusto raspoređen i da nadide mobilne mreže. Efektivno iskorištavanje Wi-Fi mreža postaje sve važnije kako bi se dokazala ograničenost mobilnih mreža, ali i iskustvo korisnika. Prema tome, procjena performansi bežičnih mreža je potrebna kako bi se procijenio kapacitet mreže i iskustvo korisnika.

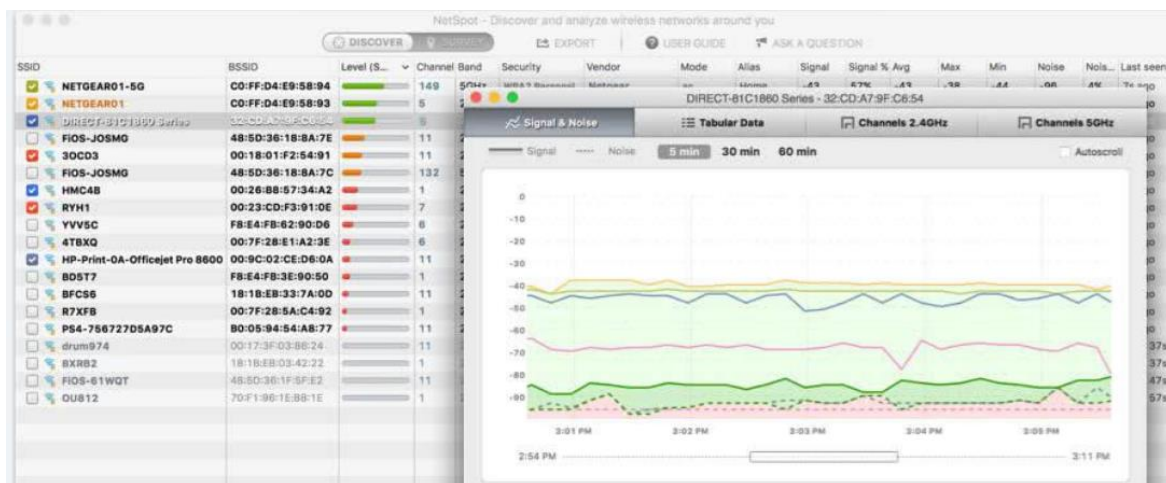
4.2. NetStop

NetStop je programski alat kojim je moguće mjeriti performanse Wi-Fi mreže kao i otkloniti određene poteškoće. Program je namijenjen operacijskom sustavu Windows i MAC OS X.

Program nije besplatan, već je moguće birati između tri verzije:

- Home verzija za 49 dolara, omogućuje korištenje od strane jednog korisnika isključivo za osobne potrebe, omogućuje dvije zone i 2 snimke, 50 točaka po svakoj zoni i 3 glavne vizualizacije te ne nudi dodatnu licencu za tehničara
- Pro verzija za 149 dolara namijenjena je korištenju od strane jednog korisnika za poslovne potrebe, omogućuje korištenje 50 zona i isto toliko snimki, 500 podatkovnih mjesta po zoni, više od 12 vizualizacija te jednu dodatnu licencu za tehničara
- Enterprise verzija za 499 dolara namijenjena je korištenju u poduzećima, uz moguće korištenje od strane 10 korisnika s neograničenim zonama, snimkama i podatkovnim mjestima, omogućuje više od 12 vizualizacija i deset dodatnih licenci namijenjenih tehničarima.

Na slici 5 je prikazana Netstop interaktivni grafikon.



Slika 5. NetSpot interaktivni grafikon [9]

Programski alat *NetSpot* radi na principu prikupljanja podataka iz Wi-Fi mreže te ih prezentira kroz interaktivnu tablicu. Ujedno omogućuje otklanjanje poteškoća kao i poboljšanje performansi kroz veću pokrivenost, bolji kapacitet, razinu signala, uklanjanje smetnji, buke i slično. Prikaz tablice dan je na prethodnoj slici.

Programski alat *NetSpot* ima sljedeće funkcije:

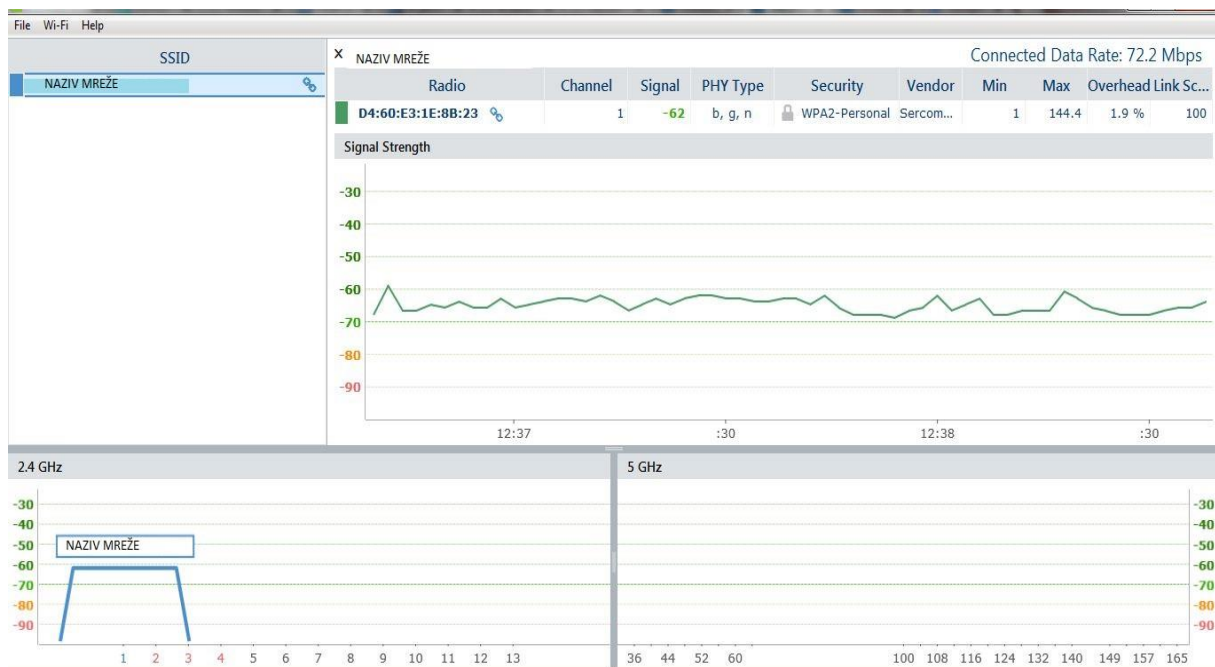
- Omogućuje prikupljanje trenutno aktualnih podataka iz Wi-Fi mrežama koje se nalaze u okolini korisnika;
- Omogućen je pregled informacija o kanalu koji koristi mreža, brzini odašiljanja signala, vrsti sigurnosti, širini pojasa, kvaliteti signala, itd.;
- Grafički prikaz razine signala i buke u realnom vremenu;
- Pronalazak kanala prema zauzetosti u frekvencijskom rasponu od 2.4 do 5 GHz;
- Usporedbu Wi-Fi mrežama prema analiziranim karakteristikama;
- Pretraživanje željene mreže za analizu i
- Izvoz podataka.

4.3. inSsider

Za razliku od programskog alata *NetStop* koji se koristi isključivo u komercijalne svrhe, *inSsider* omogućuje isprobavanje besplatne verzije alata za osobne korisnike.

Slično kao i prethodni programski alat, on omogućuje pretraživanje Wi-Fi mreža u okolini korisnika. Za pronađene mreže, korisniku omogućuje uvid u performanse tih mreža – kvalitetu signalu, brzinu prijenosa podataka, vrstu sigurnosti, itd.

InSsider Lite je pri tome potpuno besplatan te omogućuje korisnicima otkrivanje naprednih Wi-Fi problema. Na slici 6 je prikazan izgled *InSsider Lite* programa za mjerenje performansi Wi-Fi mreže.



Slika 6. Izgled InSsider Lite programa za mjerenje performansi Wi-Fi mreže

Izvor: obrada autora

Na slici 6. prikazan je izgled *InSsider Lite* verzije koja je besplatna te pregled podataka o dohvaćenoj Wi-Fi mreži. Vidljivo je kako mreža koristi jedan kanal, signala -62 dB. Analizirana Wi-Fi mreža podržava 802.11b, 802.11g i 802.11n standard Wi-Fi mreže te radi na frekvenciji od 2.4 GHz. Ujedno je definirana maksimalna brzina prijenosa podataka od 72.2 Mbps.

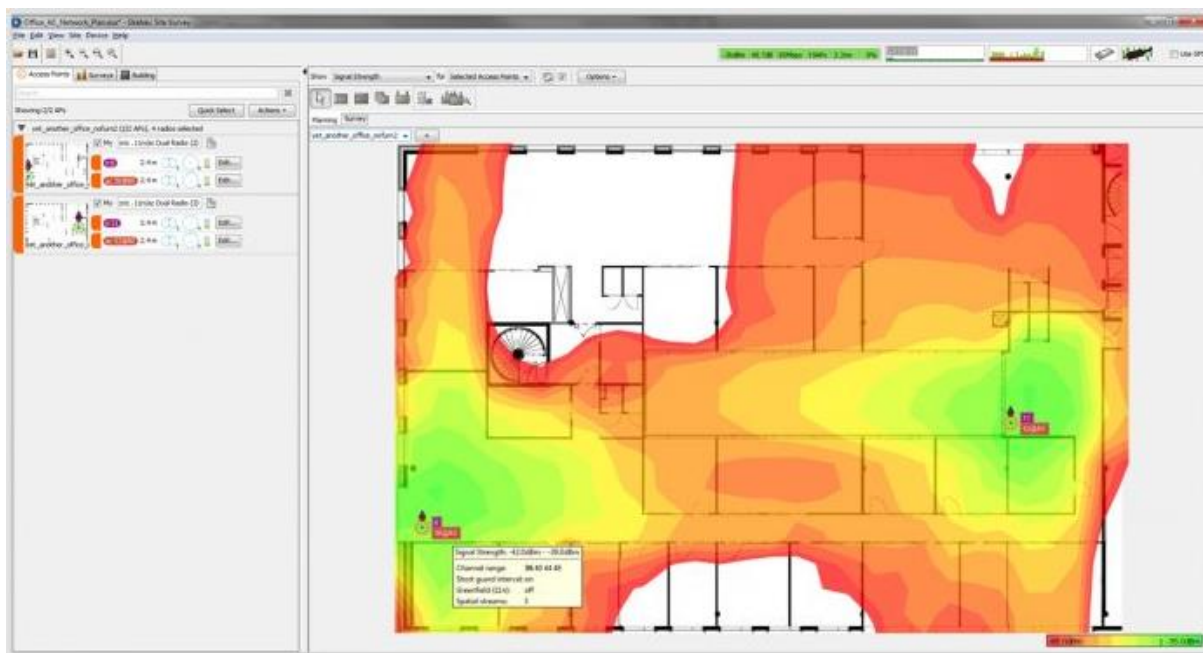
Komercijalni programski alat *InSsider* dolazi u tri sljedeće verzije:

- *inSsider Office* koji je namijenjen malim Wi-Fi mrežama za prikaz mrežnih smetnji, mrežne pokrivenosti i odabira najboljeg kanala za prijenos podataka. Dostupan je na tržištu za 149 dolara
- *inSsider Essential* znatno je skuplja verzija programa koja se trenutno po akcijskoj cijeni može kupiti za 599 dolara. Uz već postojeće mogućnosti koje nudi *inSsider Office*, *Essential* verzija nudi mogućnost optimiziranja konfiguracija Wi-Fi mreže kao i analizu radnih frekvencija
- *Chanalyzer Essential* najskuplja je verzija programa koja je trenutno na tržištu dostupna po akcijskoj cijeni od 999 dolara. Ova verzija idealna je za kompleksne Wi-Fi strukture. Uz već postojeće mogućnosti koje nude ranije spomenute verzije, ova verzija omogućuje pronalazak izvora smetnji, njihova uklanjanja, stvaranje izvještaja, itd.

4.4. Ekahau

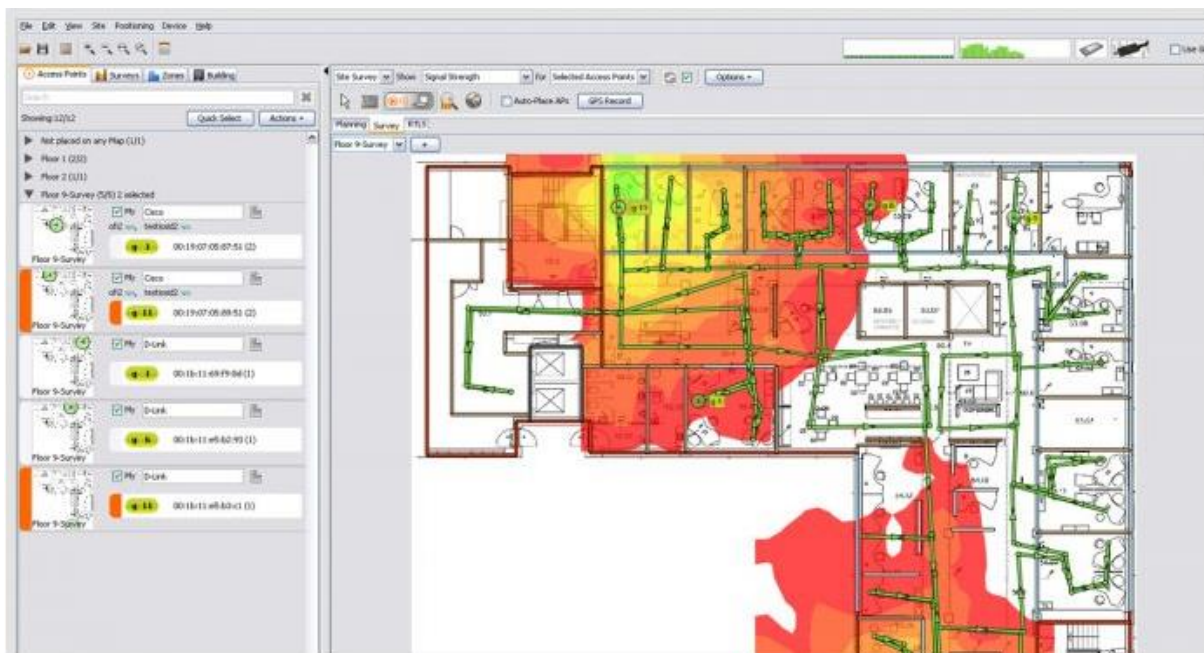
Ekahau je programski alat koji omogućuje rad s bežičnim mrežama u pogledu njihovog projektiranja, optimiziranja i otklanjanja pogrešaka. Ekahau je razvijen od strane istoimene kompanije koja je globalni lider u području projektiranja bežičnih mreža i otklanjanja pogrešaka. Trenutno imaju više od 15000 korisnika. Alati koje razvijaju usmjereni su prema smanjenju vremena potrebnog za projektiranje i implementaciju mreže, većoj pokrivenosti signala, jednostavnom rješavanju problema i optimizaciju Wi-Fi mreže.

Programski alat Ekahau radi na operacijskim sustavima Windows i MacOS. Ekahau nudi sljedeće funkcionalnosti koje su opisane u nastavku diplomskog rada. Na slici 7 je prikazano planiranje bežičnih mreža uz pomoć Ekahau alata.



Slika 7. Planiranje bežičnih mreža uz pomoć Ekahau alata [10]

Planiranje pokrivenosti i kapaciteta bežične mreže kroz modeliranje, planiranje bežične mreže na više etaža i u više zgrada, rad s fizičkim preprekama, određivanje usmjerenja antene, planiranje bežičnih mreža na otvorenom, automatski položaj i automatsko postavljanje pristupne točke te dodjeljivanje kanala na temelju pokrivenosti i kapaciteta, ručno postavljanje pristupne točke jednim klikom, puno bežičnih pristupnih točaka s antenama, podržavanje IEEE 802.11ac, 802.11n i 802.11 a/b/g standarda. Prikaz je dan na prethodnoj slici. Na slici 8 je prikazana analiza Wi-Fi mreže uz pomoć Ekahau alata.



Slika 8. Analiza wi-fi mreže uz pomoć Ekahau alata [10]

Na temelju takvog istraživanja dobivaju se brze, točne i pouzdane informacije o propusnosti i analizi spektra. Uz to moguće je istovremeno provoditi analizu na radnim frekvencijama od 2,4GHz i 5 GHz pri čemu se omogućuje podrška za istovremeno više USB uređaja kojima se skenira bežična mreža. Isto tako moguće je uz pomoć GPS uređaja raditi vanjska istraživanja te naći sve dostupne pristupne točke. Također podržava već spomenute IEEE standarde.

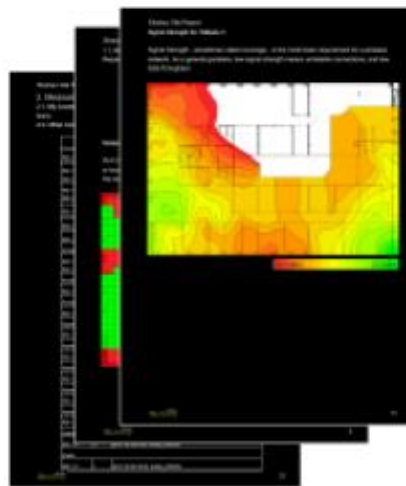
Omogućuje mjerenje omjera signala i šuma, brzine prijenosa podataka, propusnosti, pronalazi izgubljene pakete, omogućuje mjerenje trajanja prijenosa podataka, mjeri maksimalnu propusnost kanala, određuje broj pristupnih točaka koje se preklapaju, interferenciju kanala, utvrđuje probleme s kapacitetom mreže kao što su VoIP pozivi, preopterećenje pristupne točke, itd. Uz to programski alat Ekahau omogućuje implementaciju zahtjeva za VoIP, RTLS i video, omogućuje rad s prilagodljivim zahtjevima, prilagodljiv zahtjevima profila, omogućuje pronalaženje svih pristupnih točaka te njihovu analizu na temelju SSID-a, kanala ili same pristupne točke. Također moguće je napraviti simulaciju rada mreže kroz korištenje različitih Wi-Fi uređaja. Podržava već spomenute standarde iz grupe IEEE standarda.

Omogućuje rješavanje problema u radu bežične mreže kroz praćenje u stvarnom vremenu. Na slici 9 prikazano je rješavanje problema bežične mreže u Ekahau alatu.



Slika 9. Rješavanje problema u Ekahau alatu [10]

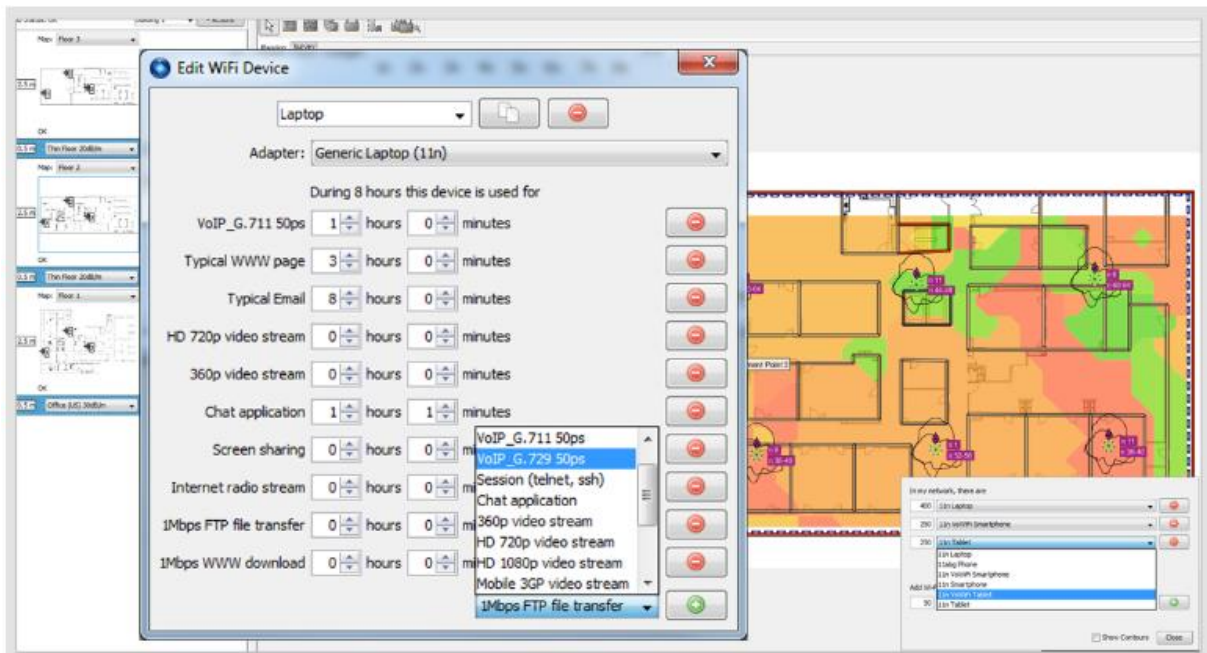
U prikazu *Network Issues view* predstavlja se stanje bežične mreže kako bi se ustanovilo u kojim dijelovima mreže dolazi do problema. Problemi se rješavaju uz pomoć ESS-a na način da se pokrivaju rupe nepokrivenosti, probleme s propusnošću kanala, probleme s ometanjem bilo od strane drugih Wi-Fi mrežama ili drugih uzročnika ometanja, probleme s nedovoljnim kapacitetom mreže, probleme s prevelikom količinom VoIP prometa, probleme s preopterećenjem pristupne točke, probleme s mreže, probleme nastale uz pogrešno postavljanje pristupne točke, probleme sa sigurnošću mreže, probleme s opterećenjem kanala za prijenos podataka. Na slici 10 je prikazana izrada izvještaja.



Slika 10. Prikaz izrade izvještaja [10]

Programski alat *Ekahau* omogućuje izradu kvalitetnih i prilagodljivih izvještaja u kojima korisnik može izraditi karte pokrivenosti signala, dobiti informacije o kapacitetima kao i o cjelokupnom mrežnom izgledom. Izvještaje je moguće napraviti na dva načina - kroz postojeći predložak definiran od strane alata ili kroz kreiranje vlastitog predloška. Kroz tako kreirane izvještaje korisniku se nude informacije o popisu pristupnih točaka i antena, informacije o načinu konfiguracije pristupnih točaka, informacije o pokrivenosti, informacije o stanju bežične mreže i problemima s kojima se susreće. Moguće je izvještavanje za obje radne frekvencije. Uz to kroz izvještaje mogu se prikazati podaci o pokrivenosti signalom za svaku pristupnu točku. Svi tako kreirani podaci na temelju izvještaja mogu se izvesti u pdf i

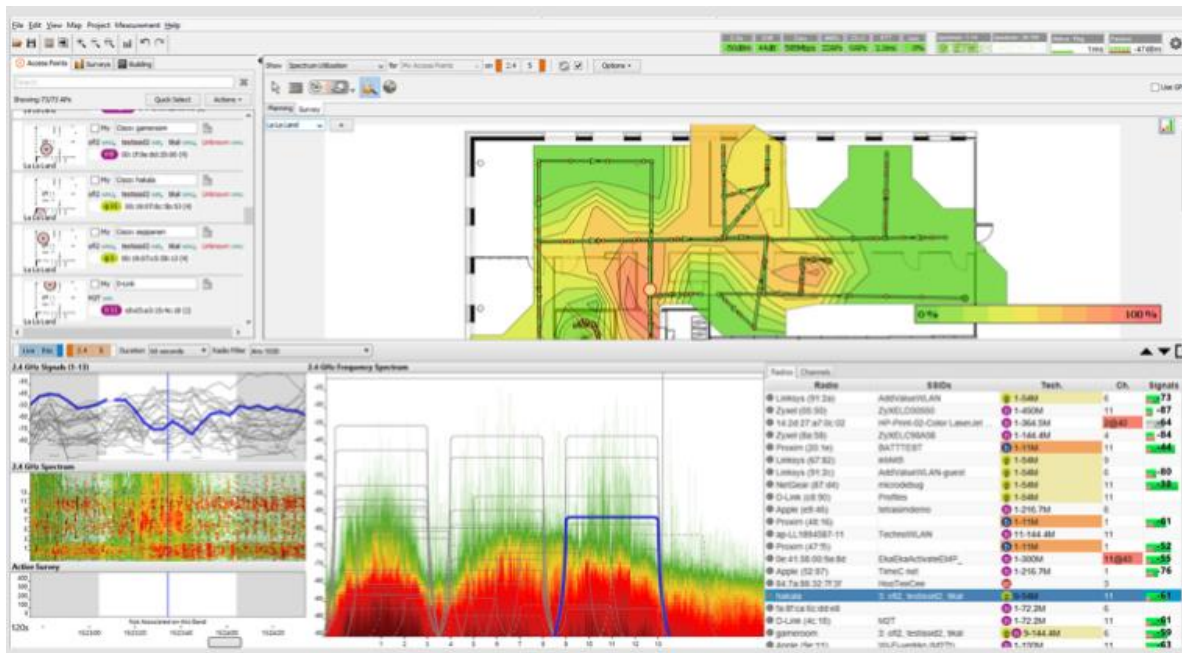
word formatu. Na slici 11 je prikazano postavljanje određenih aplikacija zajedno s njihovim trajanjem prema korisniku laptopa.



Slika 11. Postavljanje određenih aplikacija zajedno s njihovim trajanjem prema korisniku prijenosnog računala [10]

Moguće je postavljanje kapaciteta mreže, odnosno mrežnog pokrivanja. Kroz alat je moguće točno odrediti koji korisnici mogu pristupiti mreži i koje aplikacije se mogu pokretati na strani korisnika. Pri tome moguće je odrediti probleme s mrežnim pokrivanjem, odrediti optimalnu distribuciju prometa za svaku pristupnu točku. Ove osobine alata podržavaju bežične mreže temeljene na IEEE 802.11ac i IEEE 802.11n standardima.

Alat omogućuje potpuno podršku za IEEE 802.11ac i IEEE 802.11n standard. U tom pogledu moguć je u potpunosti automatizirani dizajn mreže temeljene na IEEE 802.11ac standardu, moguće je planiranje kanala za prijenos podataka za okruženja koje se temelje na različitim standardima iz grupe IEEE 802.11, moguće je odabrati optimalni primarni kanal za IEEE 802.11ac standard. Uz to moguće je provesti istraživanja o pasivnim i aktivnim pristupnim točkama, procijeniti propusnost mreže, provesti analizu buke i smetnji, napraviti spektralnu analizu, odrediti raspon propusnosti kanala. Uz to alat omogućuje podršku za brzine prijenosa do 1300 Mbps, pregled učinka pojedinih performansi, korištenje kanala od 80 MHz i 160 MHz i druge mogućnosti. Na slici 12 je prikazana analiza spektra korištenjem programskog alata Ekahau.



Slika 12. Analiza spektra korištenjem alata Ekahau [10]

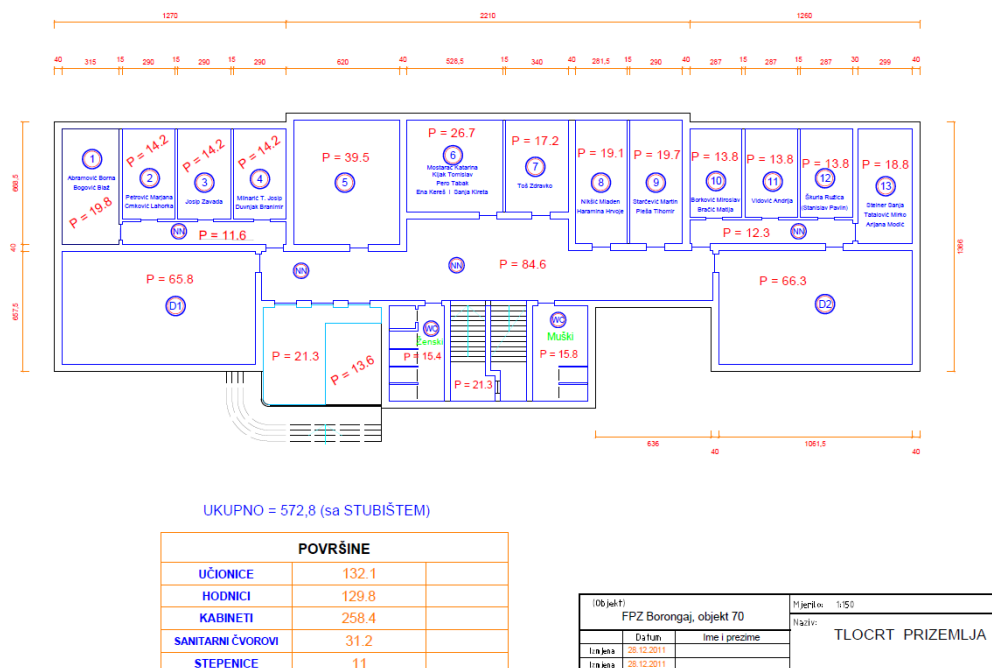
Uz pomoć programskog alata Ekahau moguće je odrediti smetnje koje nastaju od strane drugih bežičnih uređaja i bežičnih mreža te riješiti probleme koji nastaju uz takve smetnje. Alat tako omogućuje prikazivanje smetnji i njihovo minimiziranje, analiziranje spektra kroz analizu obje radne frekvencije.

Korisniku se na tržištu nudi nekoliko modela Ekahau alata i oni su opisani u nastavku:

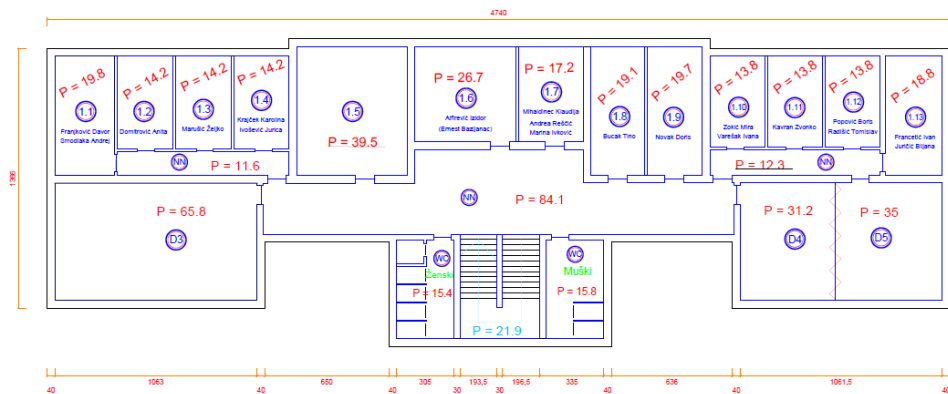
- Ekahau Sidekick Pro Pack* koji omogućuje 3D planiranje bežične mreže, planiranje kapaciteta, automatsko planiranje kanala, analizu spektra, ispitivanje propusnosti mreže, rješavanje problema u realnom vremenu, izradu prilagodljivih izvještaja, GPS mjerenja, kompatibilnost s Windows i MAC operacijskim sustavima. Alat je dostupan putem web shopa kompanije i stoji 5.495 dolara.
- Ekahau Site Survey Premium Pack* u koji su uključena dva usb adaptera, omogućuje 3D planiranje mreže, planiranje kapaciteta, GPS istraživanje, mobilno istraživanje, izradu izvješća, analizu spektra, integraciju spektra, rješavanje problema, itd. Navedeni paket na tržištu trenutno košta 4.995 dolara.
- Ekahau Site Survey Standard* koji omogućuje rješavanje problema s mrežom. U paketu dolazi jedan USB uređaj. Na tržištu je ovo najjeftiniji paket s cijenom od 2.195 dolara.

5. Ispitivanje razine i kvalitete signala Wi-Fi mreže (na primjeru ZUK Borongaj, objekt 70)

Prije samog ispitivanja na primjeru objekta 70 ZUK Borongaj bilo je potrebno u programski alat Ekahau priložiti tlocrte prizemlja i prvog kata objekta 70, koji su vidljivi na slikama 13. i 14.



Slika 13. Tlocrt prizemlja objekta 70



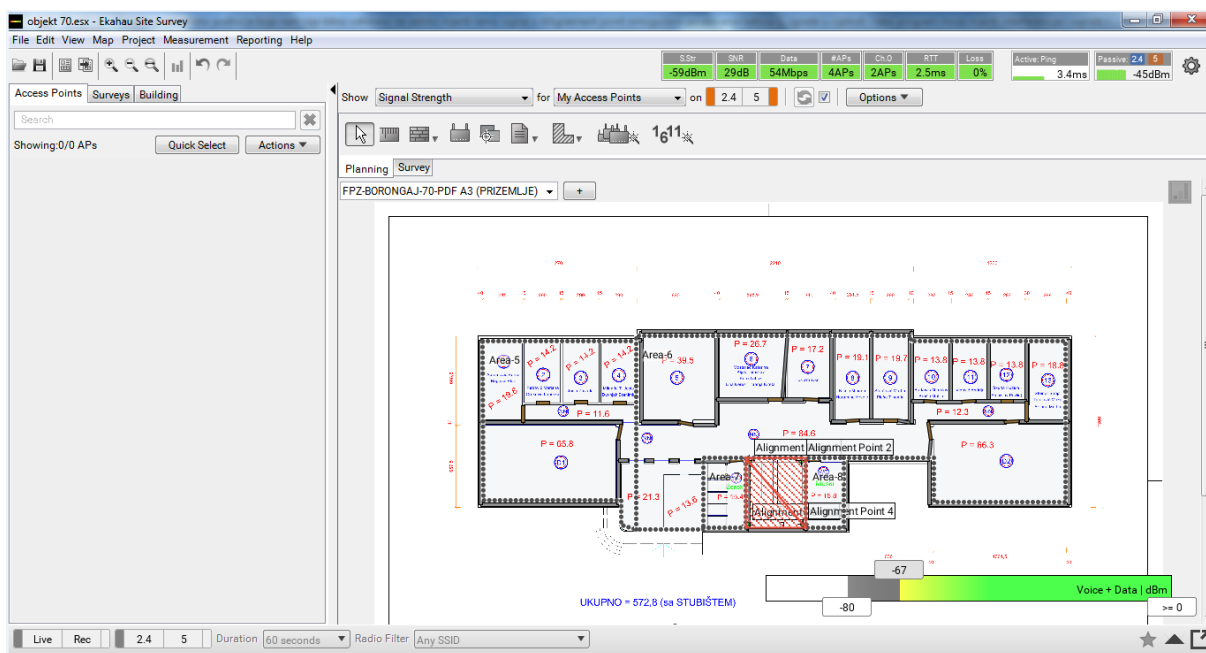
UKUPNO = 504.5 (bez STUBIŠTA)

POVRŠINE	
UČIONICE	132
HODNICI	108
KABINETI	244.8
SANITARNI ČVOROVI	31.2
STEPENICE	11

Objekt:		Mjerilo: 1:50	
FPZ Borongaj, objekt 70		Naziv:	
		TLOCRT KATA	
Datum:	Ime i prezime:		
28.12.2011			
28.12.2011			

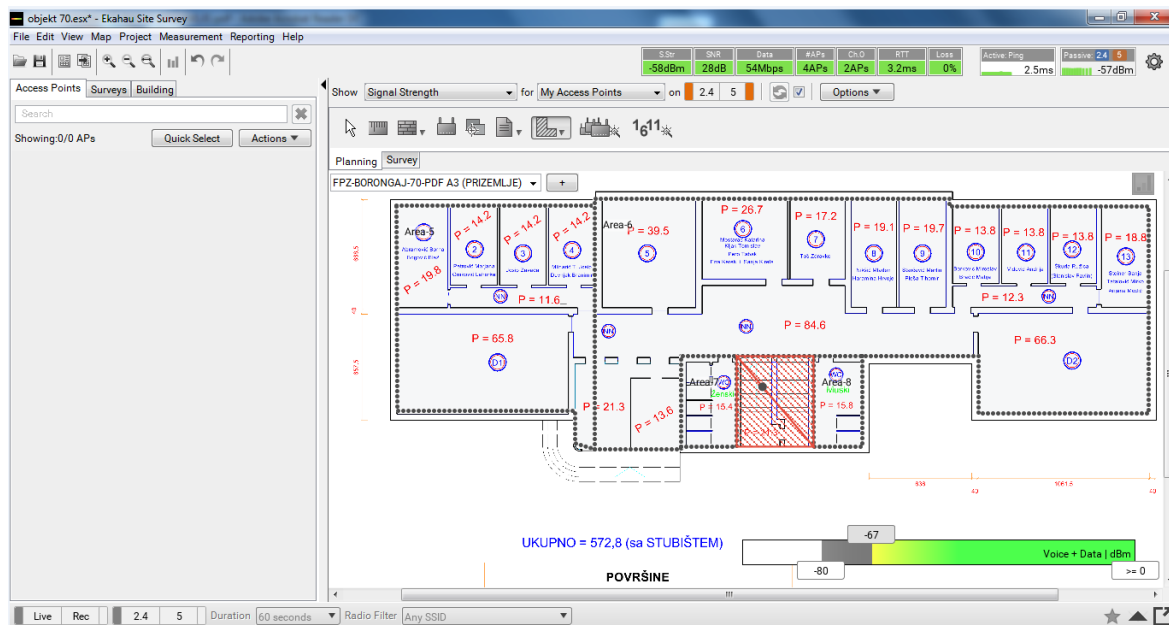
Slika 14. Tlocrt prvog kata objekta 70

Isto tako na samim tlocrtima potrebno je dodijeliti dimenzije zgrade na kojoj se provodi testiranje. Uz to je potrebno označi područje pokrivanja Wi-Fi signalom, kako bi se točno znalo područje na kojem želimo raditi ispitivanje razine i kvalitete signala, vidljivo na slici 15.



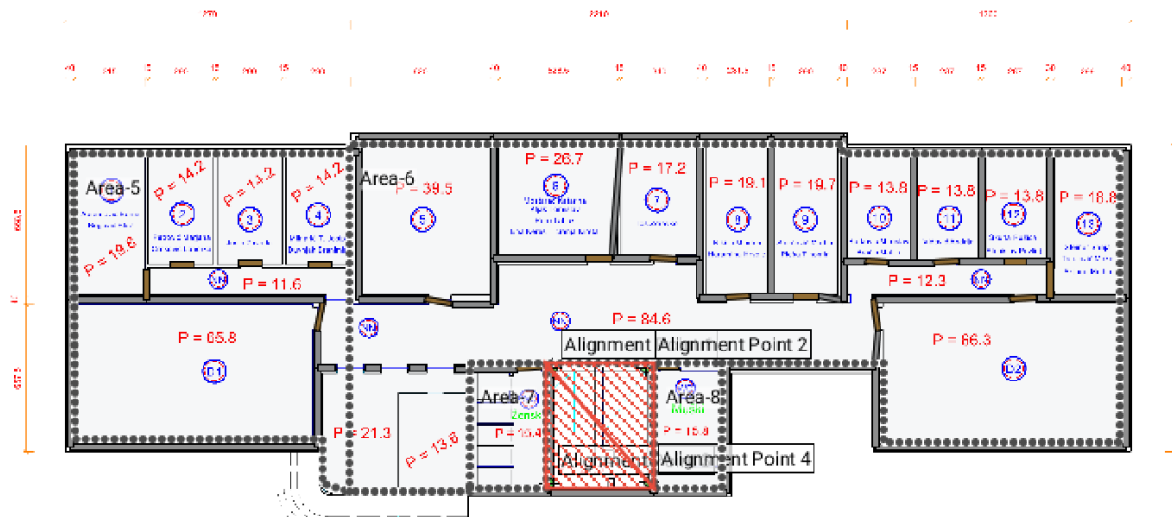
Slika 15. Označavanje područja ispitivanja razine i kvalitete signala

Potrebno je znati dimenzije zgrade kako bi mogli te dimenzije prenijeti u programski alat, odnosno programski alat pretvara mjernu jedinicu metar u sebi poznatu mjernu jedinicu pixel. To je potrebno kako bi programski alat znao u svakom trenutku poziciju prilikom ispitivanja signala. Uz sve navedeno potrebno je označiti područje na kojem ne želimo izvršiti ispitivanje kao što je označeno crveno na slici 15. Na slici 15. su također vidljive referentne točke (engl. *Alignment point*), označeno crvenom bojom, koje su potrebne kako bi programski alat povezo katove - kada se obavlja ispitivanje zgrada s više katova kao što su u ovom slučaju. Potrebno je minimalno označiti tri referentne točke, a najbolja ih je označiti na mjestu stepenica ili liftova, iz razloga što se oni uvijek nalaze na istim mjestima na svim katovima, odnosno na istim točkama u tlocrtu.



Slika 16. Označavanje područja ispitivanja razine i kvalitete signala

Na slici 17. prikazani su označeni liftovi, zidovi i vrata, što je potrebno kako bi znali koliko materijalne stvari odnosno fizičke prepreke prigušuju signal. Bitno je znati od kakvih materijala su napravljeni dijelovi zgrade, kao što su npr. beton, čelik, drvo, cigla, mramor itd.

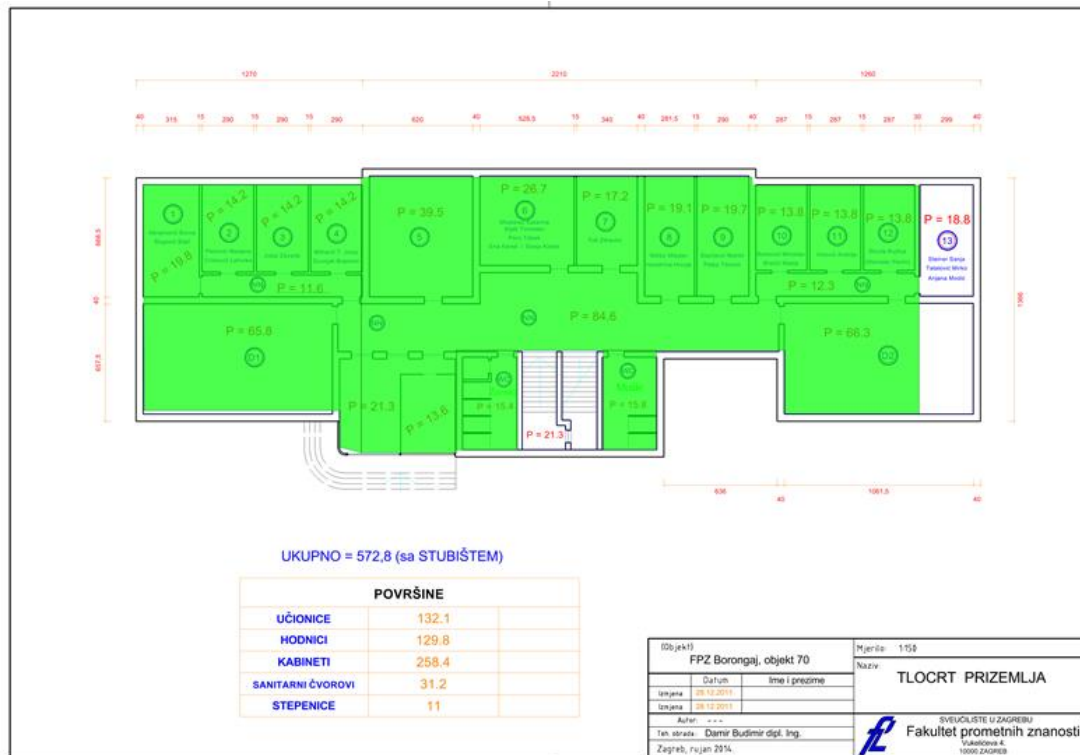


Slika 17. Označavanje liftova, zidova i vrata

Nakon gore navedene odrađene pripreme u samom programskom alatu, potrebno je fizički pomoću računalne opreme obići cijelu zgradu. Fizički obilazak se može odraditi statički i dinamički, a u ovom slučaju ispitivanja odrađeno je statičko ispitivanje. Statičko ispitivanje je kada mrežna kartica na jednom mjestu očitava mrežne parametre, a zatim je potrebno promijeniti mjesto te ponovno pokrenuti očitavanje mrežnih parametara. Dok se kod dinamičkog ispitivanja mrežni parametri očitavaju prilikom polaganog kretanja kroz ispitivani objekt. Od računalne opreme potrebno je prijenosno računalo koje u sebi ima integriranu mrežnu karticu, te dodatna mrežna kartica koja je podržana od strane programskog alata Ekahau, u slučaju ovog ispitivanja korištena je mrežna kartica USB Survey Adapter SA-1. Rezultati kroz mrežne parametre su navedeni u nastavku diplomskog rada.

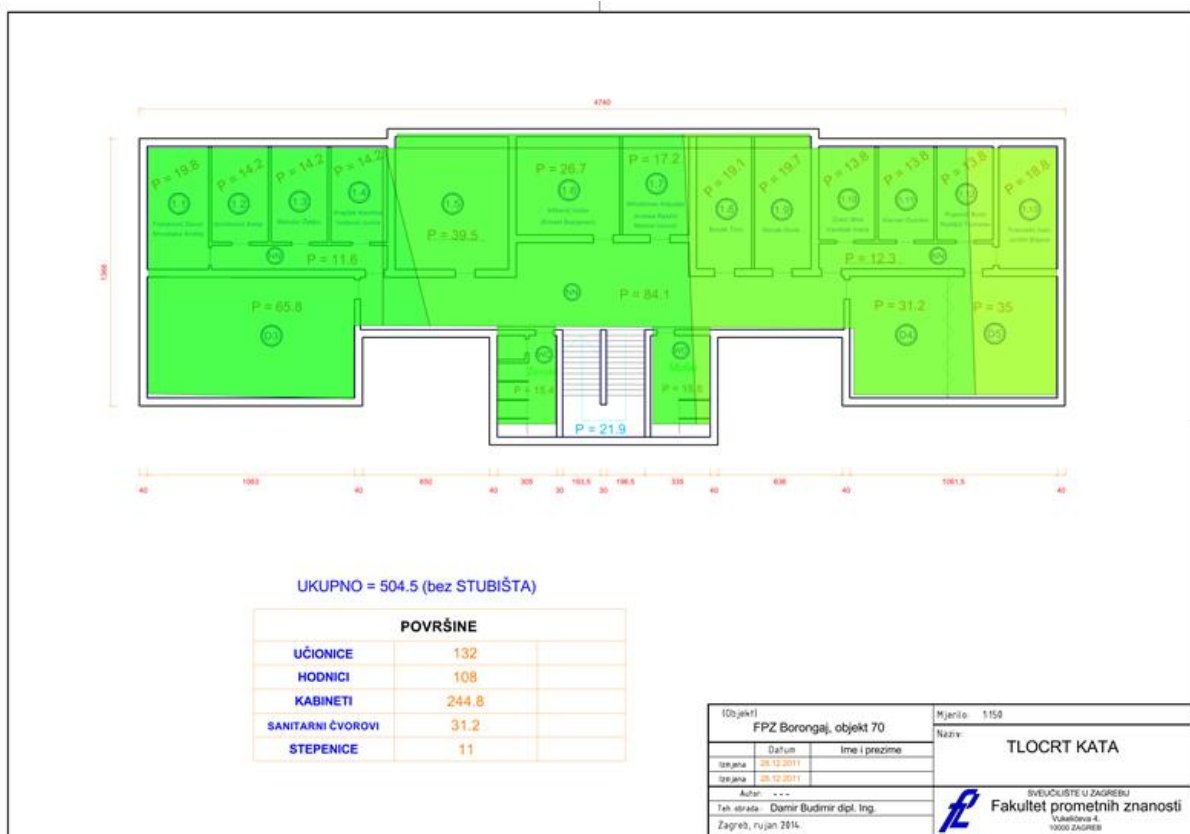
5.1. Jačina signala

Jačina signala koja se ponekad u literaturi naziva pokrivenost, osnovni je uvjet za bežičnu mrežu. Kao opća smjernica, slaba jačina signala znači nepouzdanu vezu i niski protok podataka. Na slici 18. prikazana je jačina signala u prizemlju objekta 70, dok je na slici 18. prikazana jačina signala na prvom katu objekta 70.



Slika 18. Prikaz jačine signala u prizemlju objekta 70

Na slici 18 je vidljivo kako je u prizemlju objekta 70 jačina signala podjednaka u svim prostorijama iz čega se može zaključiti kako je u tom području veza pouzdana te je zadovoljavajući protok podataka.

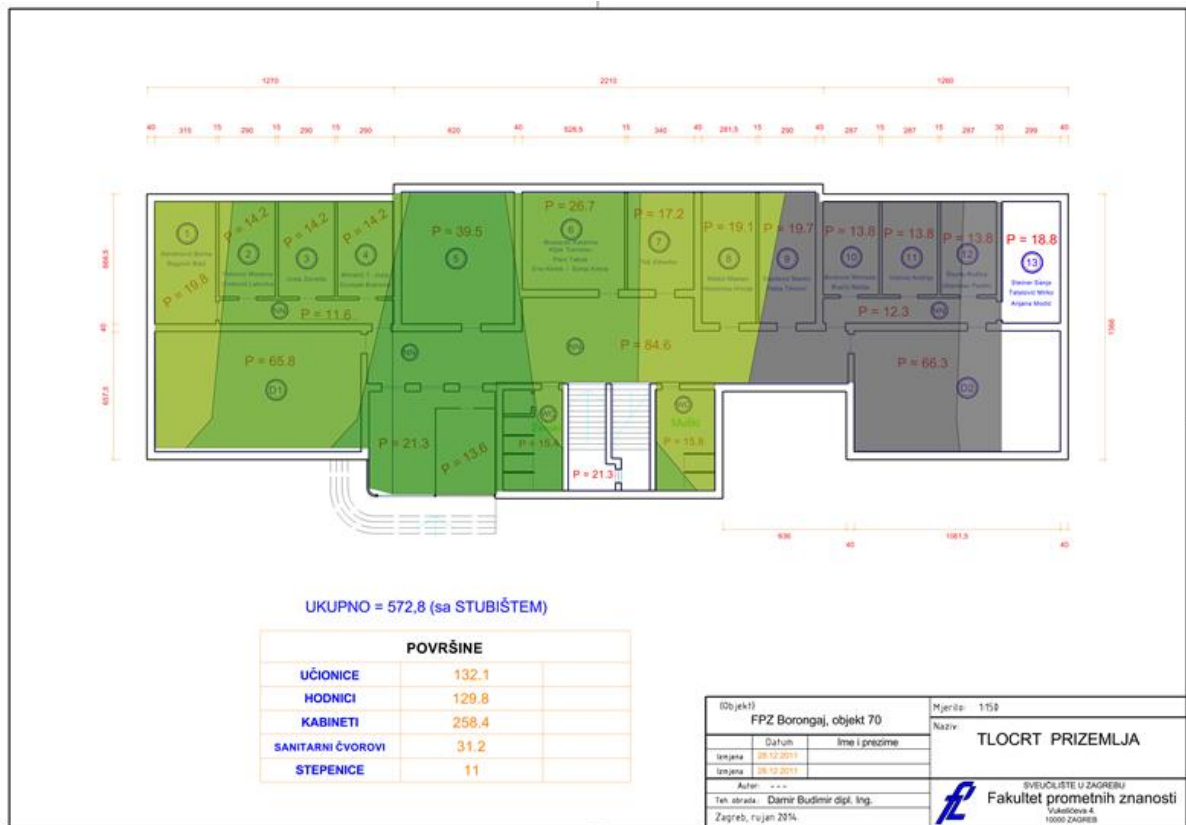


Slika 19. Prikaz jačina signala na prvom katu objekta 70

Na slici 19 je vidljivo kako je na prvom katu objekta 70 jačina signala malo slabija u prostorijama na desnoj strani iz čega se može zaključiti kako je u tom području veza povremeno nepouzdana kao i protok podataka.

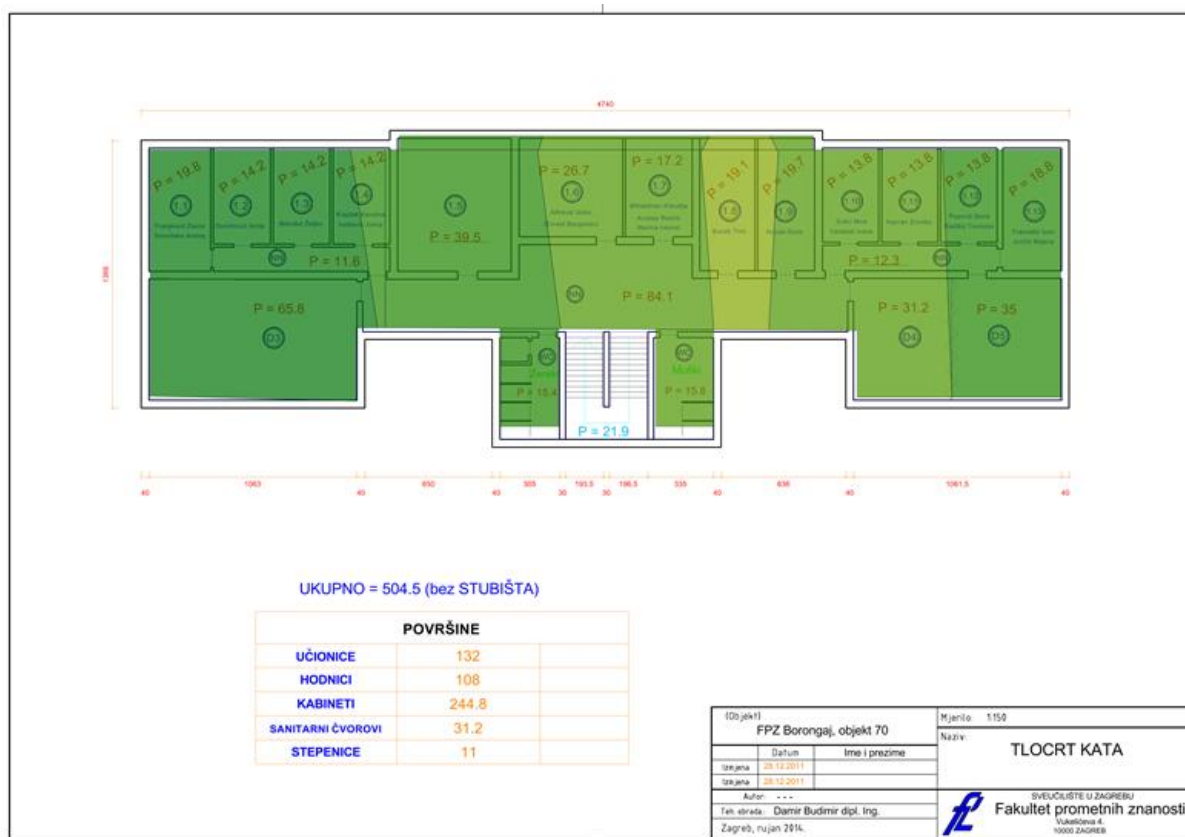
5.2. Omjer signala i buke

Omjer signala i buke pokazuje koliko je jačina signala jača od buke. Signal mora biti jači od buke (veći od nule) kako bi se omogućio prijenos podataka. Na slikama 20. i 21. su vidljivi rezultati u prizemlju i na prvom katu objekta 70.



Slika 20. Omjer signala i buke u prizemlju objekta 70

Rezultati mjerenja omjera signala i buke u prizemlju pokazuju kako je na desnoj strani kata signal za oko 10 dB jači od buke dok je na lijevoj strani u pojedinim prostorijama i za oko 40 dB jači od buke.

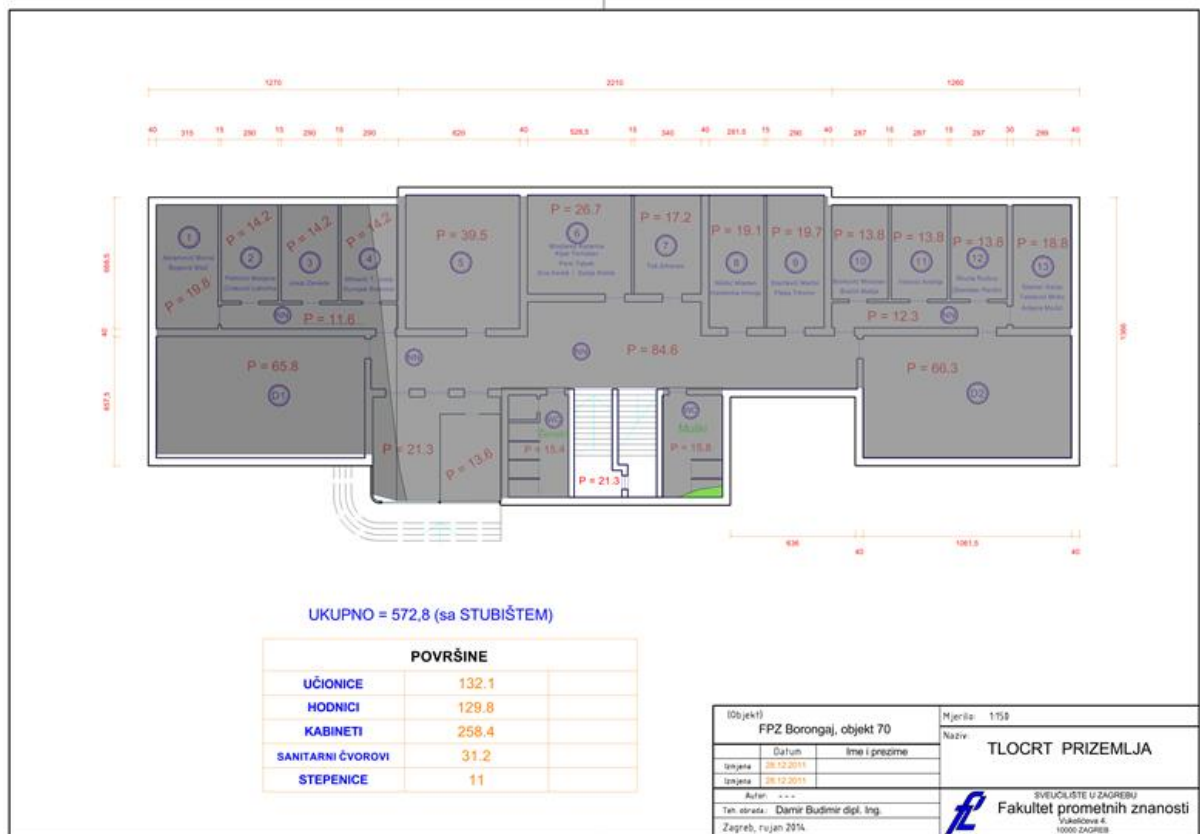


Slika 21. Omjer signala i buke na prvom katu objekta 70

Ako je signal jedva jači od buke, dolazi do povremenog prekida veze. Slika 21 prikazuje kako je na prvom katu uglavnom signal znatno jači od buke.

5.3. Preklapanje kanala

Većina korisničkih pristupnih točaka (AP-ova), kao što su bežični usmjerivači, koristi unaprijed postavljeni kanal koji se tvornički postavlja i ne mijenja se. To može uzrokovati zagušene kanale koji mogu usporiti performanse Wi-Fi mreže. To vrijedi osobito ako se oko vas nalazi mnogo Wi-Fi mreža. Na slikama 22. i 23. prikazani su rezultati ispitivanja u objektu 70.



None

≥ 6

Slika 22. Preklapanja signala u prizemlju objekta 70

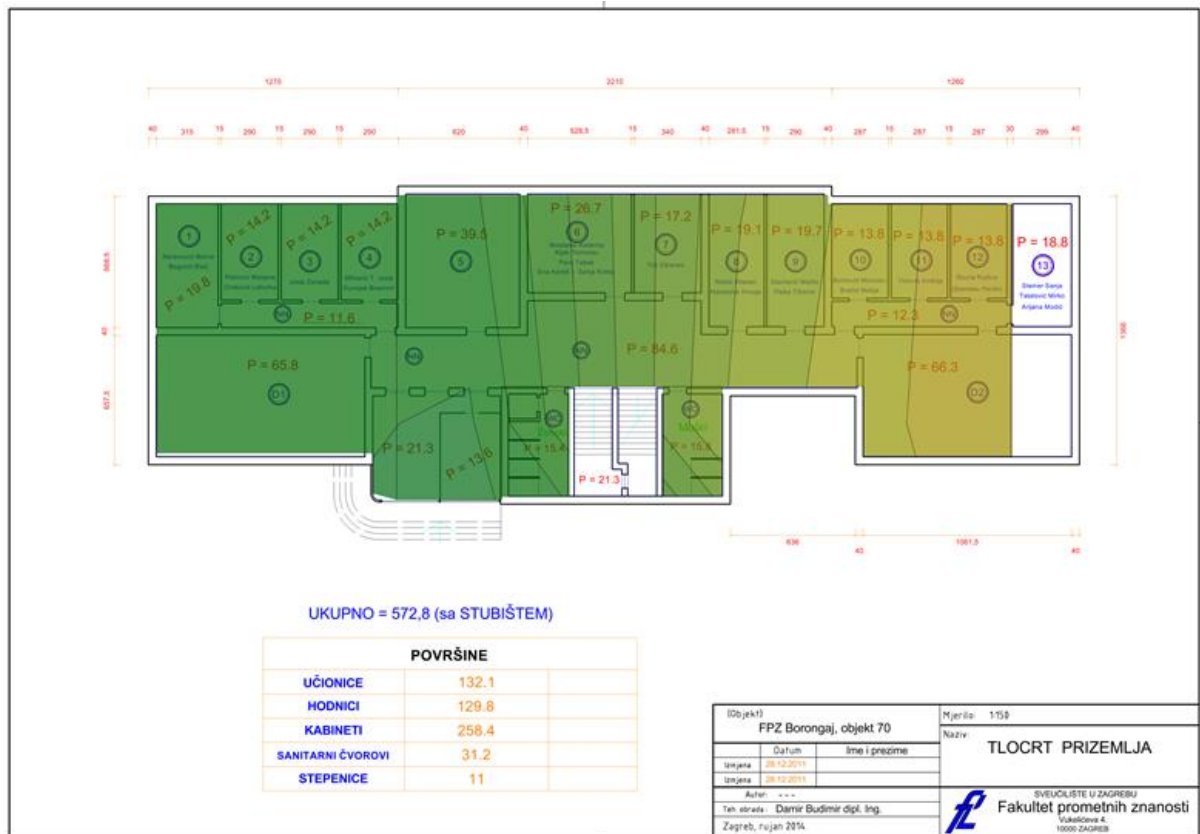


Slika 23. Preklapanja signala na prvom katu objekta 70

Na rezultatima je vidljivo da je puno lošije stanje u prizemlju objekta 70. Prije promjene kanala važno je provjeriti performanse mreže na različitim mjestima u objektu da bi se mogao odabrati najbolji kanal. Najbolji kanali su 1, 6 ili 11. Navedeni kanali se ne preklapaju i pružiti će najbolju pouzdanost.

5.4. Brzina prijenosa

Brzina prijenosa podataka je najveća moguća brzina, mjerena u Mb/s, na kojoj bežični uređaji prenose podatke. Obično je istinit prijenos podataka otprilike polovica brzine prijenosa podataka ili manje. Na slikama 24. i 25. su prikazani rezultati brzine prijenosa u objektu 70.



Slika 24. Brzina prijenosa u prizemlju objekta 70



Slika 25. Brzina prijenosa na prvom katu objekta 70

Ispitivanje je pokazalo da je lošija brzina u prizemlju objekta 70, ali zato je najveća izmjerena brzina prijenosa u prizemlju iznosila 142 Mb/s, dok je na prvom katu maksimalna brzina prijenosa izmjerena 52 Mb/s.

Prethodno napravljenom analizom vidljivo je kako je u određenim dijelovima zgrade WiFi signal slabiji te u određenim područjima dolazi do gubitka veze. U pojedinim područjima dolazi do izraženog preklapanja signala, naročito u prizemlju objekta 70, te djelomično na prvom katu spomenutog objekta.

6. Zaključak

Bežična tehnologija trenutno se nalazi usred značajne faze razvoja. Poboljšanja velikih razmjera, od veće brzine prijenosa podataka, pouzdanosti i kompatibilnosti su neophodna kako bi se održao povećani rast elektroničke industrije. Bežične mreže se svakim danom sve češće koriste i danas su postale standard u povezivanju terminalnih uređaja nudeći jednostavnu implementaciju uz smanjenje troškova, zadovoljavajuće brzine mrežne propusnosti te veću mobilnost korisnika. Implementirane su kao standard u naše domove i objekte, a sve više se radi i na pokrivenosti gradova bežičnom mrežom te upravo za navedeno Europska unija daje velike poticaje. WLAN je mreža koja se javila kao zaključak odnosno prvi odgovor na pitanje industrije zbog velikog povećanja broja korisnika, potrebe za smanjenjem ožičenja i mobilnosti, a definirana je 802.11 standardima. Bežična mreža se temelji na tehnici proširenog spektra i OFDM-u. Arhitekturu čini skup međusobno povezanih ćelija, koje se sastoje od pristupne točke, bežičnog medija, distribucijskog sustava, osnovnog skupa usluga i klijenata. Bežična komunikacija uz već navedenu mobilnost korisnicima i smanjene troškove implementacije, daje brži i lakši pristup izvoru svih potrebnih informacija. Naravno povećanjem broja korisnika u telekomunikacijama, kao i u svim mrežama tako i u bežičnoj mreži nameće se pitanje sigurnosti. Bežične mreže predstavljaju jedan on najnesigurnijih načina prijenosa iz razloga što im je medij prijenosa - zrak, čime mreža postaje dostupna i izvan okvira određene organizacije u kojoj se koristi. Upravo iz navedenih razloga sigurnosni algoritmi se svakim danom unapređuju i razvijaju kako bi se spriječila mogućnost neovlaštenog korištenja mreže.

Za potrebe izrade diplomskog rada napravljeno je mjerenje i ispitivanje razine i kvalitete signala bežične komunikacijske mreže u objektu 70 Znanstveno – učilišnog kampusa Borongaj. Napravljeno je mjerenje i ispitivanje kroz određene prometne parametre kao što su jačina signala, omjer signala i buke, preklapanje kanala i brzina prijenosa pomoću programskog alata *EKahau*. Mjerenje i ispitivanje je pokazalo da je kvaliteta i razina signala u objektu 70 poprilično zadovoljavajuća, naravno uvijek postoji mjesta za poboljšanje kao što je to slučaj s preklapanjem kanala u prizemlju objekta, gdje bi se svakako mogle napraviti promjene kako bi usluga bežične komunikacijske mreže bila bolja. U radu je korišten programski alat *EKahau* kako bi se krajnjim korisnicima omogućilo testiranje njihove mreže i poboljšanje iste kroz analizu prometnih parametara i kako bi ju korisnici mogli koristiti u

njezinom punom opsegu i s maksimalnom funkcionalnošću. Prethodno napravljenom analizom vidljivo je kako je u određenim dijelovima zgrade Wi-Fi signal slabiji te u određenim područjima dolazi do gubitka veze. U pojedinim područjima dolazi do izraženog preklapanja signala, naročito u prizemlju objekta 70, te djelomično na prvom katu spomenutog objekta. Najlošija brzina je u prizemlju objekta 70, ali je zato tamo izmjerena maksimalna brzina iznosila 142 Mb/s, dok je na prvom katu maksimalna brzina iznosila 52 Mb/s.

Nakon provedenog mjerenja i ispitivanja te pisanja ovog diplomskog rada, vidljivo je da je bežična mreža jedna od najvećih nosioca prijenosa podataka te kao takva se treba još više nastaviti razvijati kako bi išla ukorak s tehnološkim razvojem. Budućnost WLAN-a nalazi se u standardima kao što su IEEE 802.11ax, IEEE 802.11ah te IEEE 802.11ai i novim tehnologijama koje ti standardi donose. Još jedna od aktualnih tema koja se smatra budućnošću u telekomunikacijskom svijetu je istraživanje koegzistencije WLAN i LTE mreža kako bi se poboljšale performanse oba sustava. Iako je bežična mreža danas svuda oko nas i sve više je njenih korisnika te ona funkcionira na trenutno zadovoljavajućoj razini, ipak su potrebni programski alati za modeliranje i optimizaciju bežičnih mobilnih mreža.

Literatura

- [1] Anderson J.B., T.S. Rappaport i S. Yoshida (1995.), *Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels*, IEEE Communications Magazine, 1995.
- [2] Androić, D. (2016). *TCP/IP model*. Dohvaćeno s poveznice: http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_3.pdf (datum, npr. 10. 12. 2018.)
- [3] bug.hr: *Do 2023. godine 1 milijardu korisnika 5G mreža*, 2017, dostupno putem poveznice: <https://www.bug.hr/mreze/do-2023-godine-1-milijardu-korisnika-5g-mreza-1046> (13. 8. 2018.)
- [4] Berg, J. (2011). *The IEEE 802.11 Standardization Its History, Specification, Implementations, and Future*, Technical Report Series, George Mason University, 2011.
- [5] Burazer, B. (2015.). *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije*. Dohvaćeno iz <https://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf>
- [6] Carnet. (2009.). *Sigurnosni model mreže računala*. Dohvaćeno iz <https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2009-01-253.pdf>
- [7] CIS. (2011.). *Ometanje signala bežičnih mreža*. Dohvaćeno iz <https://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-08-023.pdf>
- [8] conrad. (15. 7 2018.). *Pristupne točke WLAN*. Dohvaćeno iz <http://savjet.conrad.hr/pristupne-tocke-wlan/>
- [9] Čolak, K., i Sok, A. (2006.). Pristup internetu preko satelita. *Engineering Review*, Vol. 26, No. 1-2, str. 29-37.
- [10] ekahau.com (2018.). *Desing, Optimize, and Troubleshoot wi-fi networks*, dostupno na: www.ekahau.com (15.08.2018.)

- [11] Europski parlament. (2013.). *Digitalni program za Europu*. Dohvaćeno iz [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050903/04A_FT\(2013\)050903_HR.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050903/04A_FT(2013)050903_HR.pdf)
- [12] Hamidovic, H. (2009.). *WLAN - Bežične lokalne računalne mreže*. Zagreb: Info Press.
- [13] Jurdana, I., Štrlek, M., & Kunić, S. (2013.). Bežične optičke mreže - mobilne komunikacije uporabom vidljivog spektra. *Pomorstvo, Vol. 27 No.1*, str. 55-72
- [14] Lopa, J.V. (2015.). Evolution od mobile generation technology: 1G to 5G and review of upcoming wireless Technology 5G. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research Vol. 2 No.10*, 281-289
- [15] mob.hr: Što je 5G?, dostupno na: <https://mob.hr/sto-je-5g-sve-o-mobilnim-mrezama-pete-generacije/>, 2018 (11. 8. 2018.)
- [16] Meraj, M., Kumar., S.: *Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G*. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 6 No.3, 2545-2551, 2015.
- [17] Metageek.com(2018). *Discover and visualize your wifi environment*, dostupno na: <https://www.metageek.com/products/inssider> (10. 8. 2018.)
- [18] National Instruments: *What is an Wireless Sensor Network?*, 2016, dostupno na: <http://www.ni.com/white-paper/7142/en/>, učitano 10.08.2018.
- [19] NetStop: Features, 2018., dostupno putem poveznice: <https://www.netspotapp.com/features.html> (14. 8. 2018.)
- [20] Soldo, I, Malarić, K.: *Wi-fi parameter Measurements and Analysis*, Proceeding of the 9th International Conference, Smolenice, Slovakia, 2013.
- [21] Kilinc, C.; Mahmud Mostafa, S.A.; Ul Islam, R.; Shahzad, K.; Andersson, K.: *Indoor Taxi-Cab: Real-Time Indoor Positioning and Location-Based Services with Ekahau and Android OS*, 2014.
- [22] Luntovskyy, A.; Schill, A.: *Functionality of wireless network design tools*, 2009.
- [23] Pulkkinen T.; Verwijnen, J.: *Evaluating indoor positioning errors*, 2015.
- [24] Abinader, F.M.; Almeida, E.P.L.; Chaves, F.S.; Cavalcante, A.M.; Vieira, R.D.; Paiva, R.C.D.; Sobrinho, A.M.; Choudhury, S.; Tuomaala, E.; Doppler, K.; Sousa, V.A.: *Enabling the Coexistence of LTE and Wi-Fi in Unlicensed Bands*, 2014.

- [25] Kudo, R.; Takotari, Y.; Hirantha Sithira Abeyssekera, B.A.; Inoue, Y.; Murase, A.; Yamada, A.; Yasuda, H.; Okumura, Y.: *An Advanced Wi-Fi Data Service Platform Coupled with a Cellular Network for Future Wireless Access, 2014.*

Popis kratica

Kratica	Značenje kratica
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	Advanced Mobile Phono Service
CDMA	Code-division multiple access
CODEC	Compression-Decompression Algorithm
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FDMA	Frequency-division multiple access
FSO	Free space optics
FTP	File Transfer Protocol
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HSCSD	High Speed Circuit-Switched Data
JPEG	Joint Photographic Experts Group Format za slike
LAN	Local area network Lokalna mreža
MAN	Metropolitan area network Mreža gradskog područja
NMT	Nordic mobile telephone
PAN	Personal area network
QOS	Quality of service
TACS	Total Access Communication System
TCP	Transmission Control Protocol

	Protokol za kontrolu prijenosa
TDMA	Time-division multiple access
UMTS	Universal Mobile Telecommunicatios System
UTP	Unshielded twisted pair
WAN	Wide Area Network Mreža širokog područja
WLAN	Wireless Local Area Network
WIMAX	World Wide Interoperability for Microwave Access
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WSN	Wireless sensor network

Popis slika

Slika 1. Tipovi mrežnih topologija za senzorne komunikacijske mreže [18]	6
Slika 2. Bežični most u ponavljačkom modu rada [12]	29
Slika 3. Korištene frekvencije za prijenos signala u bežičnim mrežama [7]	32
Slika 4. Modulacija signala [7]	33
Slika 5. NetStop interaktivni grafikoni [9]	41
Slika 6. Izgled InSSIDer Lite programa za mjerenje performansi Wi-Fi mreže	42
Slika 7. Planiranje bežičnih mreža uz pomoć Ekahau alata [10]	44
Slika 8. Analiza wi-fi mreže uz pomoć Ekahau alata [10].....	45
Slika 9. Rješavanje problema u Ekahau alatu [10].....	46
Slika 10. Prikaz izrade izvještaja [10].....	47
Slika 11. Postavljanje određenih aplikacija zajedno s njihovim trajanjem	48
Slika 12. Analiza spektra korištenjem alata Ekahau [10].....	49
Slika 13. Tlocrt prizemlja objekta 70	50
Slika 14. Tlocrt prvog kata objekta 70	51
Slika 15. Označavanje područja ispitivanja razine i kvalitete signala	51
Slika 16. Označavanje područja ispitivanja razine i kvalitete signala	52
Slika 17. Označavanje liftova, zidova i vrata.....	53
Slika 18. Prikaz jačine signala u prizemlju objekta 70	54
Slika 19. Prikaz jačina signala na prvom katu objekta 70.....	55
Slika 20. Omjer signala i buke u prizemlju objekta 70	56
Slika 21. Omjer signala i buke na prvom katu objekta 70	57
Slika 22. Preklapanja signala u prizemlju objekta 70	58
Slika 23. Preklapanja signala na prvom katu objekta 70.....	59
Slika 24. Brzina prijenosa u prizemlju objekta 70	60
Slika 25. Brzina prijenosa na prvom katu objekta 70.....	61

Popis tablica

Tablica 1. Frekvencije i kanali WiFi standarda.....	27
Tablica 2. Brzina prijenosa podataka i frekvencije WiFi standarda	27