

# Komparativna analiza Wlan i Wimax tehnologije te primjena

---

**Martinović, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Polytechnic Nikola Tesla in Gospić / Veleučilište Nikola Tesla u Gospiću**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:107:199323>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Polytechnic Nikola Tesla in Gospić - Undergraduate thesis repository](#)



VELEUČILIŠTE „NIKOLA TESLA“ U GOSPIĆU

Nikola Martinović

KOMPARATIVNA ANALIZA WLAN I WIMAX TEHNOLOGIJE  
TE PRIMJENA

COMPARATIVE ANALYSIS OF WLAN AND WIMAX  
TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS

Završni rad

Gospić, 2016.



VELEUČILIŠTE „NIKOLA TESLA“ U GOSPIĆU

Prometni odjel

Stručni studij cestovnog prometa

KOMPARATIVNA ANALIZA WLAN I WIMAX TEHNOLOGIJE  
TE PRIMJENA

COMPARATIVE ANALYSIS OF WLAN AND WIMAX  
TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS

Završni rad

Mentor:

dr.sc. Aleksandar Skendžić

Student:

Nikola Martinović

MBS:2961000373/11

Gospić, svibanj 2016.

Veleučilište „Nikola Tesla“ u Gospiću

prometni odjel

Gospić, 29.7. 2026.

## ZADATAK

za završni rad

Pristupniku Nikola Martinović MBS: 2961000373/11

Studentu stručnog studija cestovnog prometa izdaje se tema završnog rada pod nazivom Komparativna analiza WLAN i WMAX tehnologije te primjena

Sadržaj zadatka :

Cilj ovog rada je predstaviti WLAN i WMAX  
sustav kroz osnovne principe rada, općenito te standarde  
koji su u stalnom razvoju, kao rezultat ovog  
predstavljanja odabrane kritičke komponente će se biti  
sustava.

*Završni rad izraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Veleučilišta „Nikola Tesla“ u Gospiću.*

Mentor: dr.sc. Aleksandar Skendžić zadano: 29.7.2016, [potpis]  
(ime i prezime) (nadnevak) (potpis)

Pročelnik odjela: dr.sc. Vlatka Ružić predati do: 30.09.2016, [potpis]  
(ime i prezime) (nadnevak) (potpis)

Student: Nikola Martinović primio zadatak: 29.9.2016, Nikola Martinović  
(ime i prezime) (nadnevak) (potpis)

Dostavlja se:

- mentoru
- pristupniku

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad pod naslovom Kompatibilne analiza

WLAN, WiMAX tehnologije te primjena izradio/la samostalno pod

nadzorom i uz stručnu pomoć mentora  
dr.sc. Aleksandra Sikendžić.

Ime i prezime

Nikola Madinović

(potpis studenta)

## Sažetak

Cilj ovog rada je usporediti WLAN i WiMAX bežičnu tehnologiju. Mreža računala je skup povezanih računala koja mogu međusobno komunicirati u cilju razmjene podataka preko nekog medija za prijenos podataka. Za računalnu mrežu potrebno je imati najmanje dva računala koja su međusobno povezana. Ovaj rad daje prikaz bežičnih tehnologija, a sastoji se od četiri glavne cjeline. Prva cjelina daje pregled pojma bežičnih mreža te sredstva prijenosa bežičnih mreža. U drugoj i trećoj cjelini predstavljeni su WLAN i WiMAX principi rada, standardi, certifikati te njihova primjena. WLAN i WiMAX tehnologija komparirane su na temelju osnovne infrastrukture i dometa, frekvencije, brzine prijenosa podataka, pokrivenosti i broju korisnika u četvrtoj cjelini.

**Ključne riječi:** bežične mreže, WLAN, WiMAX, WiFi, standardi, certifikati

## Summary

The aim of this thesis is to compare WLAN and WiMAX wireless technology. A computer network is a collection of interconnected computers that can communicate with each other in order to exchange data via a data transmission medium. At least two connected computers are required for a computer network. This paper speaks of wireless network technologies, and it is divided into four main sections. The first section explains the concept of wireless networks and the means for transmission of wireless networks. The second and third section define WLAN and WiMAX operating principles, standards, certifications and their application, followed by the fourth section with the comparison of WLAN and WiMAX technologies based on the basic infrastructure and reach, frequency, data transfer speed, coverage and number of users.

Key words: wireless networks, WLAN, WiMAX, WiFi, standards, certifications



## SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
1.1. Predmet istraživanja .....	1
1.2. Radna hipoteza.....	1
1.3. Svrha i cilj istraživanja.....	1
1.4. Znanstvene metode istraživanja .....	2
1.5. Struktura rada .....	2
2. Bežične mreže.....	3
2.1. Sredstva prijenosa bežičnih mreža .....	3
2.2. Frekvencijski pojasevi i kanali.....	4
2.2.1. Frekvencijski pojasevi .....	4
2.2.2. Kanali .....	6
3. WLAN.....	8
3.1. Osnovni princip rada WLAN sustava .....	8
3.1.1. Pasivno skeniranje .....	9
3.1.2. Aktivno skeniranje .....	10
3.2. Servis set.....	12
3.2.1. Osnovni servis set.....	12
3.2.2. Prošireni servis set.....	13
3.2.3. Nezavisni osnovni servis set .....	14
3.3. Standardi WLAN-a.....	15
3.3.1. IEEE organizacija.....	16
3.3.2. Standard IEEE 802.11.....	17
3.3.3. Standard IEEE 802.11b.....	18
3.3.4. Standard IEEE 802.11a.....	19
3.3.5. Standard IEEE 802.11g.....	20
3.3.6. Standard IEEE 802.11n.....	21
3.3.6. Standard IEEE 802.11ac.....	21
3.5. Certifikati i organizacije .....	22
3.5.1. Wi-Fi Alliance .....	22
3.5.2. FCC.....	23
3.5.3. ETSI .....	23
3.5.4. CWNP .....	24
4. WiMAX .....	25
4.1. Osnovni princip povezivanja WiMAX-a .....	26
4.2. Mobilni WiMAX sustav .....	27

4.2.1. Mrežna arhitektura .....	28
4.2.2. Mrežna oprema .....	29
4.3. WiMAX Standardi .....	30
4.3.1. Standard IEEE 802.16.....	30
4.3.2. Standard IEEE 802.16a.....	31
4.3.3. Standard IEEE 802.16 – 2004.....	31
4.3.4. Standard IEEE 802.16e.....	31
4.3.5. Standard IEEE 802.16m.....	33
4.3.5. WiMAX Forum.....	33
5. Usporedba WLAN i WiMAX tehnologija .....	35
5.1. Osnovna infrastruktura i domet.....	36
5.2. Frekvencija .....	38
5.3. Brzina prijenosa podataka .....	38
6. Primjena WLAN I WiMAX tehnologije.....	40
7. Budućnost računalnih mreža .....	43
8. Zaključak .....	45

## 1. Uvod

Potreba za komunikacijom između računala na neograničenoj udaljenosti dovela je do brzog razvitka bežičnih tehnologija. U počecima korišteni su kablovi slični telefonskim koji su potom zamijenjeni kablovima veće propusnosti podataka. Iako je žičana veza bila učinkovita, svako računalo bilo je ovisno o fizičkoj povezanosti s davateljem usluge. Kako se tehnologija razvijala, tako se razvio i bežični sustav komunikacije koji prenosi podatke elektromagnetskim valovima. Danas postoji nekoliko vrsta bežičnih mreža koje se razlikuju po području pokrivenosti, frekvenciji, brzini prijenosa podataka, broju korisnika i troškovima.

### 1.1. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ovoga rada je bežična komunikacija, standardi te WLAN i WiMAX tehnologije.

### 1.2. Radna hipoteza

WiMAX sustav nudi veću brzinu prijenosa podataka, ali je manje zastupljen od WiFi-a. Oba standarda koriste se i u povezivanju dislociranih lokacija.

### 1.3. Svrha i cilj istraživanja

Cilj ovog rada je definirati WLAN i WiMAX te preglednom analizom komparirati te dvije tehnologije kroz osnovne načine rada, opremu te standarde koji su u stalnom razvitku.

#### 1.4. Znanstvene metode istraživanja

Komparativnom metodom usporedit će se WLAN i WiMAX tehnologija te tako utvrditi njihove sličnosti i razlike.

#### 1.5. Struktura rada

Rad je podijeljen u osam poglavlja. Prvo poglavlje predstavlja temu, hipotezu svrhu i cilj istraživanja te znanstvene metode. Drugo poglavlje odnosi se na definiranje bežičnih mreža te su objašnjena sredstva prijenosa bežičnih mreža, frekvencijski pojasevi i kanali. Treće i četvrto poglavlje predstavljaju osnovne principe rada WLAN i WiMAX sustava, servis set, standarde, certifikati i organizacije. Komparacija WLAN i WiMAX tehnologije nalazi se u petom poglavlju koje sadrži tri pod-poglavlja kroz koja se prikazuje komparacija po osnovnoj strukturi i dometu, frekvenciji, brzini prijenosa podataka. Primjena ovih tehnologija nalazi se u šestom poglavlju koje uključuje praktičan prikaz WLAN-a u izgradnji pametnih kuća te WiMAX-a u sustavu PROMETHEUS. Nadalje u sedmom poglavlju prikazat će se budućnost računalnih mreža, te u zadnjem poglavlju predstavlja zaključno razmatranje na ovu temu.

## 2. Bežične mreže

Bežične mreže su komunikacijski sustavi koji koriste bežične medije kao što je tehnologija radio valova za odašiljanje i preuzimanje podataka, minimizirajući potrebu za "žičanom" povezanosti. Bežične mreže koriste se za povećanje mogućnosti, a ne za zamjenu, žičanih mreža i najviše se koriste da bi osigurali povezivanje mobilnog korisnika sa žičanom mrežom. (Čorić, 2011.) Na ovaj način moguće je prenositi podatke na kratkim udaljenostima od nekoliko metara (televizijski daljinski upravljač) ili velikim udaljenostima od tisuća ili čak i milijuna kilometara, u slučaju radio komunikacija. Bežične komunikacije odgovaraju na potrebu povećanja širine kanala telekomunikacijskih mreža i mobilnosti arhitekture. Polaganje optičkih kablova je nedovoljno isplativo, a rješenja koja se oslanjaju na postojeću infrastrukturu, kao što je DSL (engl. Digital Subscriber Loop - digitalna pretplatnička petlja), uglavnom imaju problem raspoloživih kapaciteta.

### 2.1. Sredstva prijenosa bežičnih mreža

Kao sredstvo prijenosa bežične mreže koriste se radio valovi, infracrvena svjetlost ili laserski sustavi. Radio valove koriste mreže tipa Wi-Fi (engl. Wireless Fidelity - bežični internet) koje pokrivaju heterogena okruženja u kojima segmenti mreže nisu nužno vidljivi i mogu biti odijeljeni zidovima ili preprekama. Najpoznatiji primjeri mreža koje koriste radiovalove za prijenos informacija su WLAN (engl. Wireless Local Area Network - bežična lokalna mreža), mobilna telefonija, zemaljska i satelitska televizija te bežični širokopojasni pristup Internetu WiMAX (engl. Worldwide Interoperability for Microwave Access - Svjetska interoperabilnost za mikrovalni pristup). (<http://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-08-023.pdf>)

Mreže bazirane na infracrvenoj svjetlosti koriste se za spajanje uređaja između kojih postoji direktna linija vidljivosti. Manjkavost ovog tipa mreže je niska brzina prijenosa

podataka, pa one sve češće bivaju zamijenjene *Bluetooth*<sup>1</sup> uređajima. Laserske mreže koriste se za povezivanje pod-mreža mreža baziranih na drugim tehnologijama. Prednost lasera je velika brzina prijenosa. Tipičan primjer je povezivanje mreža dviju susjednih zgrada. Problem lasera je osjetljivost na vanjske uvjete i vibracije, pa mreže bazirane na radio valovima istiskuju iz upotrebe i ovaj tip mreža. Bežične mreže koriste elektromagnetske valove za komunikaciju od jedne do druge točke bez oslanjanja na ikakvu fizičku povezanost.

(<http://boo.mi2.hr/~marcell/www.slobodastvaralastvu.net/www.slobodastvaralastvu.net/TehnoloLogije/WiFi750f.html?op=comment>)

## 2.2. Frekvencijski pojasevi i kanali

Kanali predstavljaju podjelu frekvencijskog prostora na dijelove. Svaki kanal zauzima mali frekvencijski pojas (određeni dio frekvencije npr. od 2,412 GHz (gigaherc) do 2,484 GHz) sa određenom središnjom frekvencijom. Definiranih kanala IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers - Udruženje inženjera elektrotehnike) 802.11 standardom ima 14. U Hrvatskoj je dopušteno korištenje 13 kanala, dok je npr. u Francuskoj dopušteno korištenje samo 2 kanala. U Japanu se koriste svih 14 kanala, a u Sjedinjenim Američkim Državama koristi se 11 kanala. (<http://extremewifi.hr/cesta-pitanja/>)

### 2.2.1. Frekvencijski pojasevi

Radiovalovi koji prenose informacije mogu raditi na raznim frekvencijama iz radiofrekvencijskog spektra, a frekvencije se kreću između 3 KHz (kiloherc) i 300 GHz. Frekvencija na kojoj će uređaji raditi ovisi o zahtjevima pojedine tehnologije. Na primjer, frekvencije oko 24,5 GHz omogućuju veće brzine prijenosa, ali udaljenost između odašiljača i

---

<sup>1</sup>Bluetooth je način bežične razmjene podataka između dva ili više uređaja. Veza se uspostavlja putem radio valova u frekvencijskom području od 2,4 do 2,48 GHz.

prijemnika je manja nego na frekvencijama oko 3,5 GHz. Bežične mreže su jako osjetljive na interferenciju radiovalova do koje može doći ako dvije različite bežične mreže prenose različite podatke na istoj frekvenciji. U tom slučaju se pojavljuju smetnje i signal postaje toliko izobličen da obje bežične mreže ne mogu više prenositi podatke. Kako bi se izbjegla interferencija, potrebno je različitim bežičnim mrežama dodijeliti različite frekvencije. Dodjeljivanjem frekvencija iz radiofrekvencijskog spektra upravlja organizacija ITU (eng. International Telecommunication Union - Međunarodna telekomunikacijska unija). Svakoj bežičnoj tehnologiji je dodijeljen točno određeni frekvencijski pojas. Na primjer, WLAN mreže po 802.11 standardu (Wi-Fi mreže) rade u rasponu od 2400 do 2483 MHz (megaherc), a mobilni telefoni treće generacije (3G mreže (engl. third generation - treća generacija) koje koriste UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunications System - Univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav)) u Europi koriste frekvencije oko 2100 MHz (od 2110 do 2170 MHz). Raspodjela frekvencija za pojedine tehnologije se razlikuje ovisno o državi. Na primjer, spomenute 3G mreže u Hrvatskoj koriste frekvencije od 2110 do 2170 MHz dok u SAD-u koriste frekvencije između 1930 i 1990 MHz.

Većina frekvencijskih pojaseva se naplaćuje, ali postoji par malih frekvencijskih pojasa koji su besplatni za korištenje. Jedan takav pojas se nalazi oko 2,4 GHz. Ostali frekvencijski pojasevi koriste se za mobilnu telefoniju. Mobiteli za razliku od Wi-Fi uređaja koriste tri frekvencije za rad. Prvi skup frekvencija koji se koristio još u vrijeme GSM<sup>2</sup> (engl. Global System for Mobile Communications) mobitela je onaj na 900 MHz, a daljnjim razvojem mobilne telefonije, uvođenjem novih tehnologija i prelaskom na 3G mreže, radiofrekvencijski spektar kojeg koriste mobilni telefoni se povećao. Postoje dvije skupine frekvencijskih pojaseva, jedan za silaznu i jedan za uzlaznu vezu. Naime, mobilni telefoni rade u *full-duplex* načinu rada, što znači da koriste različite frekvencije za primanje i slanje podataka. Skup frekvencija za silaznu vezu koriste bazne stanice kada šalju podatke do mobilnih uređaja, a skup frekvencija za uzlaznu vezu koriste mobilni uređaji pri svom slanju podataka. Zbog *full-duplex* načina rada, mobiteli mogu istovremeno i primati i slati podatke (obje strane telefonskog razgovora mogu istodobno pričati). ISM (engl. - Industrial, Scientific and Medical -

---

<sup>2</sup>GSM je u svijetu najrašireniji standard za mobilnu telefoniju. U željezničkom prometu se koristi posebna inačica, koja se zove GSM-R (GSM for Railway).

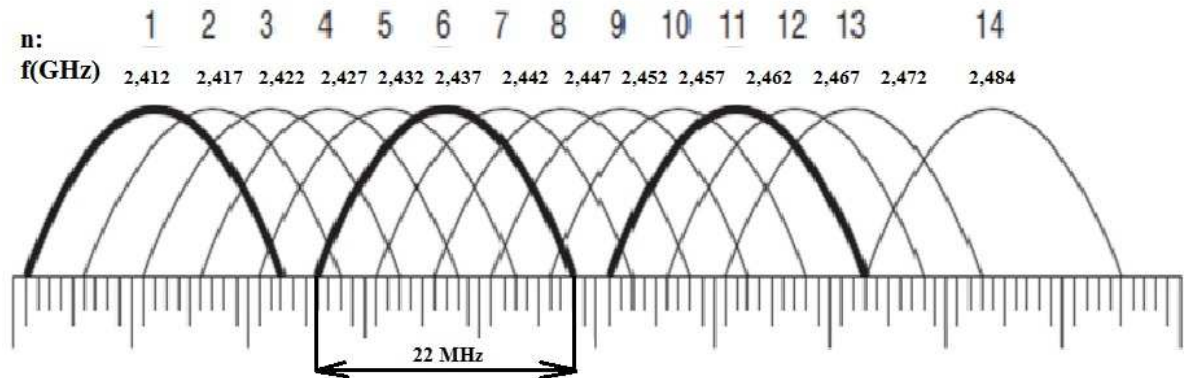
Industrijski, znanstveni, medicinski) frekvencijski pojas. U Europi je taj pojas širine 83,5 MHz, a koriste ga brojne poznate bežične tehnologije poput Wi-Fi, *Bluetooth* i kućnih bežičnih telefona. WLAN mreže koje koriste ISM pojas su poznate pod imenom Wi-Fi, a zapravo se radi o mrežama koje se pridržavaju 802.11b/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 5 GHz te nije sukladna s normama 802.11b/g/n. (<http://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-08-023.pdf>)

### 2.2.2. Kanali

Kako bi se dodijeljeni frekvencijski pojas što bolje iskoristio, on se dijeli u kanale. Kanale čini raspon od nekoliko frekvencija u dodijeljenom frekvencijskom pojasu. Pojedini uređaj prenosi podatke koristeći samo jedan kanal, a ne cijeli pojas. Tako više uređaja koji koriste istu tehnologiju može istovremeno raditi čak i kada se nalaze blizu jedan drugom. Na primjer, ISM pojas na 2,4 GHz u Europi podijeljen je na 13 kanala širine 22 MHz kao na slici 1. U Americi je taj pojas nešto uži pa je zbog toga podijeljen na 11 kanala, iako se na prvi pogled čini da je 13 kanala i više nego dovoljno za rad, boljim promatranjem slike 1 može se otkriti zašto se nikada ne koristi svih 13 kanala. Naime, kanali se preklapaju i istovremenim korištenjem, primjerice, kanala 1 i 2 dolazi do velike interferencije što rezultira jako velikim brojem izgubljenih paketa pri slanju podataka. Zbog toga se rijetko kada koriste više od tri kanala. Kanali koji se u Europi koriste za Wi-Fi mreže su kanali 1, 7 i 13 koji su međusobno dovoljno razmaknuti da ne uzrokuju interferenciju. Činjenicu da postoje samo tri upotrebljiva kanala treba uzeti u obzir kod projektiranja WLAN mreža. Ova bežična mreža se sastoji od uređaja koji se zovu pristupne točke. Oni odašilju i primaju bežične signale do i od ostalih Wi-Fi uređaja i tako omogućuju, primjerice, bežično spajanje prijenosnog računala na internet. Kada treba pokriti veće površine, koristi se više pristupnih točki čije se područje prekrivanja na nekim mjestima preklapa. Svaka pristupna točka koristi jedan od tri moguća kanala što znači da pristupne točke s kojima se preklapa moraju koristiti druge kanale.



Slika 1: Frekvencijski pojas i podjela kanala



Izvor: Teković, 2010.

U suprotnom, dolazilo bi do interferencija na mjestima preklapanja. Kod mobilne telefonije podjela frekvencijskog pojasa na kanale i njihova upotreba ovisi o tehnologiji koja se koristi i broju korisnika koji ih žele koristiti (<http://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-08-023.pdf>).

### 3. WLAN

WLAN je bežična računalna mreža koja povezuje dva ili više uređaja pomoću metode bežične distribucije (često s raspršenim spektrom ili OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje radiom) u ograničenom području kao što su kuće, škole, računalni laboratorij ili poslovne zgrade. To daje korisnicima mogućnost da se mogu kretati unutar lokalnog područja pokrivenosti i još uvijek biti spojeni na mrežu, a može pružiti vezu širom interneta. Većina modernih WLAN-a temelji se na IEEE 802.11 standardima, na tržištu pod imenom Wi-Fi .

WLAN-ovi su postali popularni u kući zbog jednostavnosti ugradnje i korištenja te u komercijalnim kompleksima nude bežični pristup svojim kupcima, često i besplatno ([https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_LAN](https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN)).

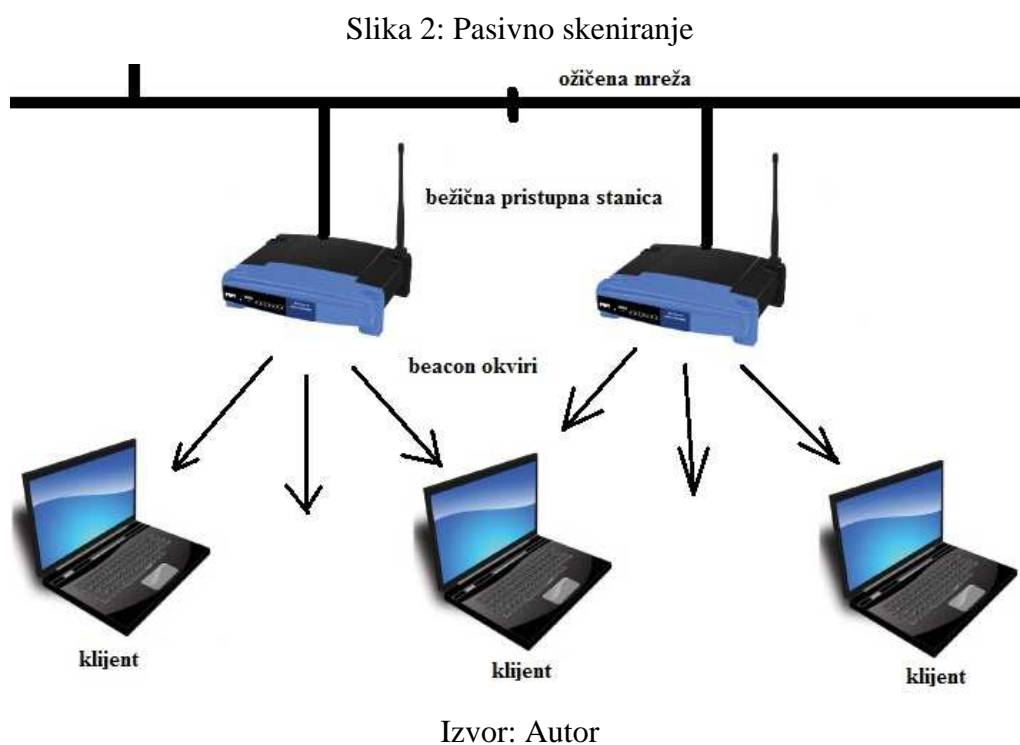
Tržište bežičnih lokalnih mreža je trenutačno u velikoj i brzom ekspanziji. Ako uzmemo u obzir javni, poslovni ili kućni WLAN, sve je poželjnije bežično povezivanje, za razliku od fiksnih mreža, tim više što su cijene bežičnog pristupa internetu i intranetu sve niže i konkuriraju tradicionalnom fiksnom pristupu. Mobilni operatori, i ne samo oni, istražuju mogućnosti proširivanja svoje ponude usluga osiguranjem WLAN pristupa podatkovnim mrežama ([http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br\\_2\\_2003/wlan.htm](http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/wlan.htm)).

#### 3.1. Osnovni princip rada WLAN sustava

Nakon što se instalira, konfigurira i konačno pokrene WLAN klijentski uređaj automatski će početi osluškivati medij oko sebe s ciljem lociranja bežičnih lokalnih računalnih mreža (WLAN). Klijent jednako tako nastoji otkriti može li se pridružiti nekoj od lociranih mreža. Ovaj proces osluškivanja naziva se skeniranje. S obzirom da skeniranjem klijent nalazi vezu, to je prvi proces. Postoje dva tipa skeniranja, pasivno skeniranje i aktivno skeniranje. (Teković, 2010.)

### 3.1.1. Pasivno skeniranje

Pasivno skeniranje predstavlja proces osluškivanja okvira na svakom kanalu određeno vrijeme. Nakon što se stanica inicijalizira, *beacon*<sup>3</sup> okviri šalju pristupne točke ili klijentske stanice. Na osnovi informacija iz beacon okvira, stanica koja vrši skeniranje stvara katalog s značajkama pristupnih točaka ili stanica. (Teković, 2010.)



Stanica osluškuje *beacon* okvire te nakon što čuje i okvir koji oglašava *SSID* (engl. *Service Set Identifier*) one mreže kojoj se stanica želi pridružiti, ona će se pokušati pridružiti mreži kroz pristupnu točku koja je poslala taj *beacon* okvir. U konfiguracijama u kojima postoji više pristupnih točaka *SSID* one mreže kojoj se stanica želi pridružiti može biti odaslan s više pristupnih točaka. U ovoj situaciji, stanica će se pokušati pridružiti mreži kroz pristupnu točku s najjačim signalom i najmanjim odnosom greške. Stanice nastavljaju pasivno skeniranje čak i nakon pridruživanja pristupnoj točki. Pasivno skeniranje skraćuje vrijeme potrebno za ponovno

---

<sup>3</sup>Beacon je mali uređaj koji se napaja baterijom i preko Bluetooth Low Energy tehnologije emitira signal. Taj signal presreće mobitel (s Android ili iOS operativnim sustavom) i na taj se način zna da je osoba koja se registrirala na odgovarajućoj lokaciji.

povezivanje ako se stanica iz nekog razloga odspoji od pristupne točke. Održavanjem liste dostupnih pristupnih točaka i njihovih karakteristika (kanal, jačina signala, SSID, itd.), stanica može brzo locirati najbolju pristupnu točku za ponovno povezivanje ako se trenutna veza prekine. Stanica će prebaciti asociranje s jedne pristupne točke na drugu nakon što snaga radio signala pristupne točke s kojom je stanica trenutno povezana, padne ispod određene razine. Stanice koriste informacije dobivene kroz pasivno skeniranje za lociranje sljedeće najbolje pristupne točke koja bi se mogla koristiti za ponovno povezivanje na mrežu (Teković, 2010.).

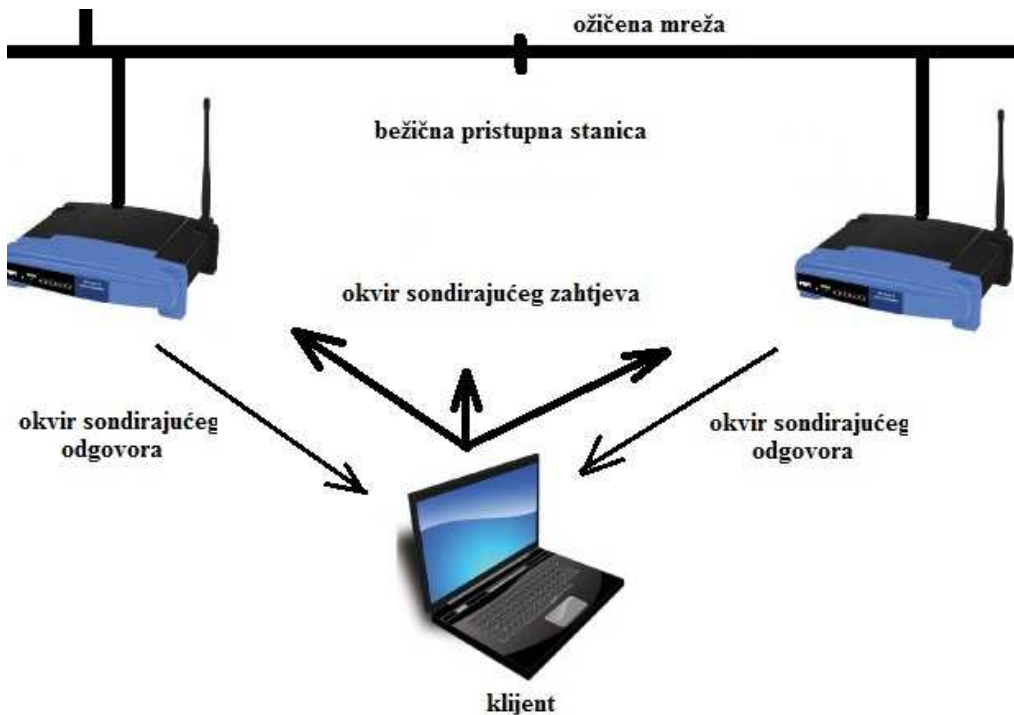
### 3.1.2. Aktivno skeniranje

Aktivno skeniranje se sastoji do slanja okvira zahtjeva za sondiranjem s bežične stanice. Stanice šalju sondirajuće okvire kad aktivno traže mrežu kojoj se žele pridružiti. Sondirajući okvir će sadržavati ili SSID mreže kojoj se stanica želi pridružiti ili *broadcast* SSID. Ako je sondirajući zahtjev poslan s određenim SSID-om, onda će samo pristupne točke koje imaju SSID odgovoriti okvirom sondirajućeg odgovora. Ako je okvir sondirajućeg zahtjeva poslan s *broadcast*<sup>4</sup> SSID-om, onda će sve pristupne točke u području dosezanja odgovoriti okvirom sondirajućeg odgovora. Cilj aktivnog sondiranja je lociranje pristupnih točaka kroz koje se stanica može priključiti na mrežu. Nakon što je pristupna točka s odgovarajućim SSID-om pronađena, stanica poduzima autentifikacijske korake pridruživanja mreži kroz tu pristupnu točku. (Teković, 2010.)

---

<sup>4</sup>Broadcast prijenos podatak se sadrži od jednog paketa podataka koji se kopira te šalje svim čvorovima koji se nalaze u mreži. Tada se koristi broadcast adresa, te se potom kopira paket koji se šalje svim korisnicima na mreži.

Slika 3: Aktivno skeniranje



Izvor: Autor

Informacija prosljeđena stanici s pristupne točke u okviru sondirajućeg odgovora slična je informaciji iz *beacon* okvira. Okvir sondirajućeg odgovora razlikuje se od *beacon* okvira samo po tome što ne sadrži mapu pokazatelja prometa TIM (engl. Traffic Indication Map-mapa pokazatelja prometa) i vremensku oznaku. (Teković, 2010.)

Snaga signala sondirajućeg odgovora koju klijent primi pomaže u određivanju pristupne točke kojoj će se klijent pokušati pridružiti, stanica izabire pristupnu točku s najjačim signalom i najnižim odnosom greške BER (engl. Bit Error Rate - najniži odnos greške). BER predstavlja odnos paketa naspram neoštećenih paketa, a obično se određuje i u odnosu signala i buke. U procesu traženja bežične pristupne točke klijentska stanica slijedi tragove koje ostavlja pristupna točka. Postoje dvije vrste tragova servis set identifikatori i *beacon* okviri. (Teković, 2010.)

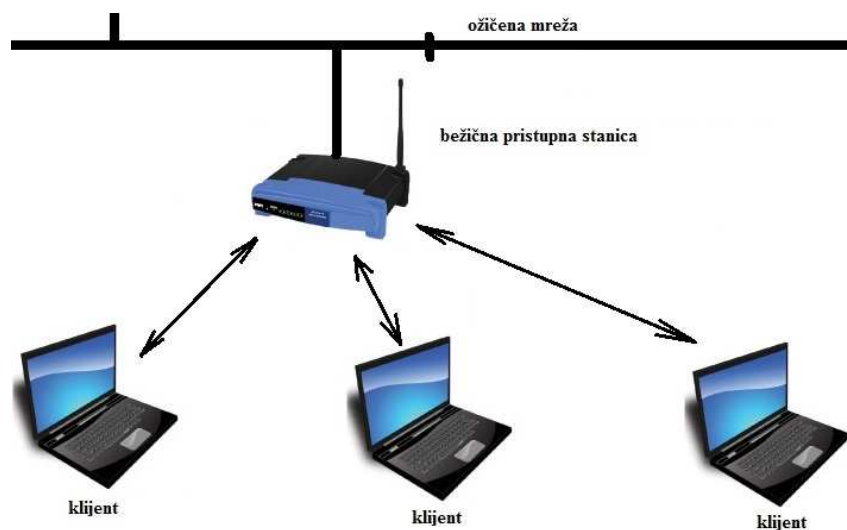
### 3.2. Servis set

Izraz „servis set“ koristi se za opisivanje osnovnih komponenti potpuno operativnih WLAN-ova. Postoje tri načina za konfiguriranje WLAN-ova i svaki zahtjeva različiti hardverski set. Tri načina za konfiguriranje WLAN-ova su osnovni servis set, prošireni servis set i nezavisni osnovni servis set.

#### 3.2.1. Osnovni servis set

Osnovni servis set kad je jedna pristupna točka spojena s ožičenom mrežom i grupom bežičnih stanica, mrežna konfiguracija se označava kao osnovni servis set. Osnovni servis set sastoji se od samo jedne pristupne točke i jednog ili više bežičnih klijenata, osnovni servis set koristi infrastrukturni način rada. Infrastrukturni način rada zahtijeva korištenje pristupne točke i sav se promet odvija preko nje, nema izravnog prijenosa klijent – klijent. Svaki bežični klijent mora koristiti pristupnu točku za komunikaciju s bilo kojim drugim bežičnim klijentom ili klijentom na ožičenoj mreži. (Teković, 2010.)

Slika 4: Osnovni servis set



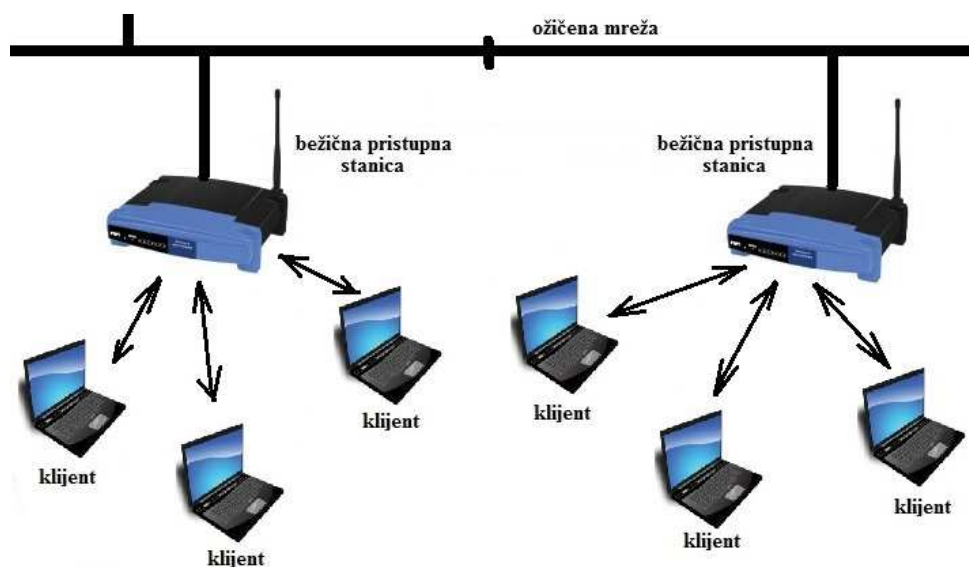
Izvor: Autor

Osnovni servis set pokriva jednu stanicu ili radiofrekvencijsko područje oko pristupne točke s različitim zonama brzine prijenosa podataka (teoretski koncentrični krugovi). Brzina prijenosa podataka u ovim će koncentričnim krugovima ovisiti od korištene tehnologije. Ako se u osnovnom servis setu koristi npr. 802.11b oprema, koncentrični krugovi imat će brzine od 11, 5,5, 2 ili 1 Mbps (engl. Megabits Per Second - megabita u sekundi). Brzina prijenosa se smanjuje s udaljavanjem od pristupne točke. Osnovni servis set ima jedinstveni SSID. (Teković, 2010.)

### 3.2.2. Prošireni servis set

Prošireni servis set označava konfiguraciju u kojoj su dva ili više osnovnih servis setova povezanih zajedničkim distributivnim sustavom. Distributivni sustav može biti ožičen, bežični, LAN (engl. Local Area Network - lokalna računalna mreža), WAN (engl. Wide Area Network - mreža širokog područja) ili bilo koja druga metoda mrežnog povezivanja. Prošireni servis set mora imati najmanje dvije pristupne točke koje rade u infrastrukturnom načinu.

Slika 5: Prošireni servis set



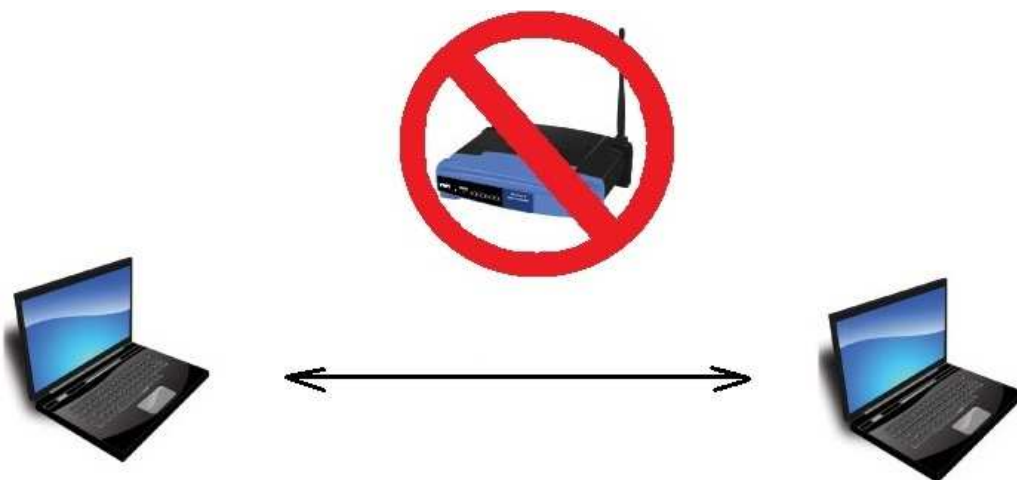
Izvor: Autor

Slično kao i kod osnovnog servis seta, svi paketi u proširenom servis setu moraju ići preko jedne od pristupnih točaka. Prošireni servis set pokriva više stanica, dozvoljava (ali ne zahtjeva) mogućnost *roaminga*<sup>5</sup>. Ne zahtjeva se isti SSID kao u oba osnovna servis seta. (Teković, 2010.)

### 3.2.3. Nezavisni osnovni servis set

Nezavisni osnovni servis set poznat je i kao *ad hoc*<sup>6</sup> način rada. Nezavisni osnovni servis set nema pristupne točke ili nekog drugog pristupa distributivnim sustavu. Pokriva jednu stanicu i ima jedan SSID. Klijenti u nezavisnom osnovnom servis setu prave izravne veze jedni prema drugima kad šalju podatke te je iz tog razloga nezavisni osnovni servis set često nazivan i *peer – to – peer*<sup>7</sup> mreža. (Teković, 2010.)

Slika 6: Nezavisni osnovni servis set



Izvor: Autor

<sup>5</sup>Roaming se odnosi na sposobnost da kupac automatski upućuje i prima glasovne pozive, šalje i prima podatke ili pristupa drugim uslugama, uključujući podatkovne usluge, kada putuje izvan geografskog područja pokrivanja mreže.

<sup>6</sup>Ad hoc mreže su mreže definirane na način da njeni korisnici mogu komunicirati bez potrebe za postojanjem infrastrukture ili prethodno uređenih odnosa među potencijalnim korisnicima mreže.

<sup>7</sup>Peer to peer (eng isti sa istim ili svaki sa svakim) u računalstvu podrazumijeva:

koncept umrežavanja računala bez poslužitelja, gdje je svako računalo inteligentna radna stanica, koja pronalazi druga računala ili koncept dijeljenja datoteka između većeg broja računala, za razliku od mrežnog poslužitelja datoteka (file servera) koji koriste protokol za dijeljenje datoteka



U slučaju da postoji potreba za slanjem podataka izvan nezavisnog osnovnog servis seta jedan od klijenata u nezavisnom osnovnom servis setu mora djelovati kao *gateway*<sup>8</sup>. (Teković, 2010.)

### 3.3. Standardi WLAN-a

Rastom broja bežičnih tehnologija, proizvođača i uređaja uloga regulatornih tijela koje propisuju pravila i standarde vrlo je značajna u omogućavanju međusobne komunikacije svih tih uređaja. Standardi omogućuju proizvodima različitih proizvođača međusobno komuniciranje. Do sada najuspješniji WLAN standardi su iz IEEE 802.11 porodice. Danas postoji nekoliko 802.11 standarda koji se međusobno razlikuju prema korištenim tehnologijama i karakteristikama. ([http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br\\_2\\_2003/wlan.htm](http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/wlan.htm))

Prije no što je usvojen 802.11 standard, sva bežična oprema bila je različita, tj. svaki je proizvođač proizvodio opremu prema vlastitim standardima. Osim što je korisnik bio osuđen na samo jednog dobavljača, nije postojalo mogućnosti za međusobnu povezivost uređaja dvaju različitih proizvođača. Zbog toga bežična oprema nije ulazila u široku upotrebu te je postala nešto što si samo “bogatije” kompanije mogu priuštiti. Zbog svega navedenog, radna grupa standarda 802 IEEE 1 uzela je svoj jedanaesti izazov kako bi standardizirala prijenos podataka u radijskom spektru od 2,4 GHz i 5,1 GHz. Tako je 26. lipnja 1997. IEEE ratificirao 802.11 standard za bežične lokalne mreže. Od tada su cijene uređaja mnogostruko pale. (Šopar, 2004.)

Europski institut za telekomunikacijske standarde ranih je devedesetih godina razvio HIPERLAN<sup>9</sup> - bežičnu tehnologiju kratkog dosega za upotrebu u Europi. Američka regulatorna politika bila je znatno drugačija: FCC (engl. Federal Communication Commission – Vladina

---

<sup>8</sup>Gateway je uređaj koji se nalazi u čvoru računalske mreže, služi za komuniciranje sa nekom drugom mrežom koja koristi drukčiji mrežni protokol.

<sup>9</sup>HIPERLAN je Europski standard koji omogućava digitalni prijenos podataka i veliku brzinu bežične komunikacije.

komunikacijska komisija) je 1985. godine proglasila tri nelicencirana područja s gotovo neograničenim mogućnostima korištenja. Ova je odluka bila plodno tlo za razvoj IEEE 802.11 tehnologija koje danas dominiraju Europom. (Teković, 2010.)

### 3.3.1. IEEE organizacija

IEEE je neprofitna organizacija koja okuplja istraživače i inženjere s ciljem razvoja komunikacijskih standarda na polju elektroničkih i računalnih znanosti te ostalih povezanih disciplina. U sklopu IEEE, 1990. godine osnovana je grupa 802.11 s ciljem analiziranja postojećih aplikacija i okruženja u kojem se bežične mreže koriste. No tek je 1997. godine objavljen prvi protokol. Standardi grupe 802.11 omogućuju jeftin i fleksibilan bežični pristup, vrlo lako je razviti 802.11 WLAN u kampusima, zračnim lukama, burzama, uredima, bolnicama i ostalim mjestima. Kako se aplikacije razvijaju i korisnici žele sve veći spektar usluga kroz WLAN pristup. Postoje dvije osnovne konfiguracije mreže koje se pružaju kroz 802.11 standarde, prijenos podataka svih postaja mora proći kroz centralni pristupni uređaj i sve postaje mogu komunicirati s drugima i bez centralnog pristupnog uređaja (Rao, 2009.).

Najznačajnija 4 IEEE standarda za WLAN su: 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11ac no postoje i mnogi drugi.

Tablica1: Osnove značajke važnijih 802.11 standarda

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac
Godina ratificiranja	1997.	1999.	1999.	2003.	2009.	2014.
Frekvencijski pojas	2,4GHz	2,4GHz	5GHz	2,4GHz	2,4GHZ 5GHz	5.4GHz
Brzine(Mbps)	1, 2	11	54	54	100+	1300

Izvor: Teković, 2010.

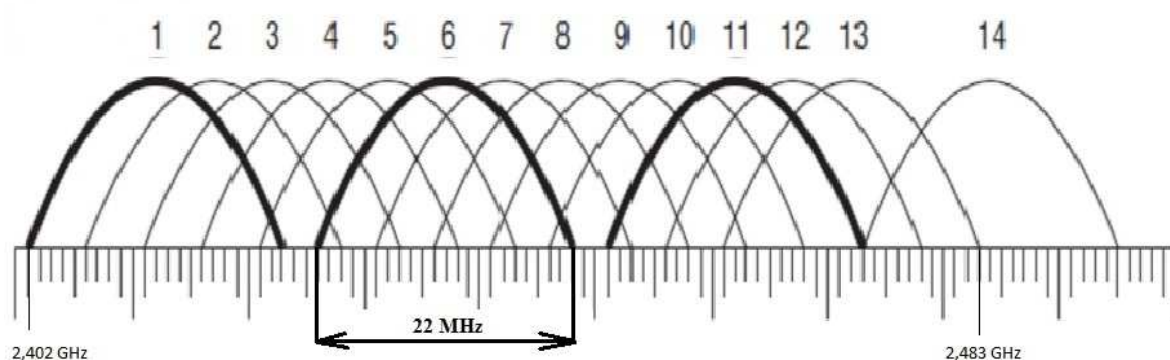
### 3.3.2. Standard IEEE 802.11

802.11 standard ratificiran je 1997. godine i prvi je standard koji opisuje rad WLAN-ova. Ovaj standard uključuje mogućnost korištenja sljedećih prijenosnih tehnika:

- DSSS (engl. DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum - Raspršenje spektra direktnim postupkom)
- FHSS (engl. FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum-frekvencijsko raspršenje spektra)
- Infracrvenu tehnologiju (IR - Infrared)

802.11 standard opisuje DSSS i FHSS sustave koji omogućuju brzine prijenosa od 1 Mbps i 2 Mbps. 802.11 proizvodi koriste 2,4 GHz ISM frekvencijsko područje (frekvencijski pojas 2,4000 – 2,4835 GHz). Infracrveni sustavi, obuhvaćeni ovim standardom, koriste svjetlosno baziranu tehnologiju i ne spadaju u frekvencijsko područje od 2,4 GHz. U tom je pojasu standardom 802.11 definirano 13 (14 kanala samo u Japanu) kanala, širine 22 MHz od kojih se samo 3 (4) međusobno ne preklapaju pa se oni i najčešće koriste u planiranju WLAN mreže.

Slika 7: Podjela frekvencijskog pojasa za 802.11



Izvor: Teković, 2010.

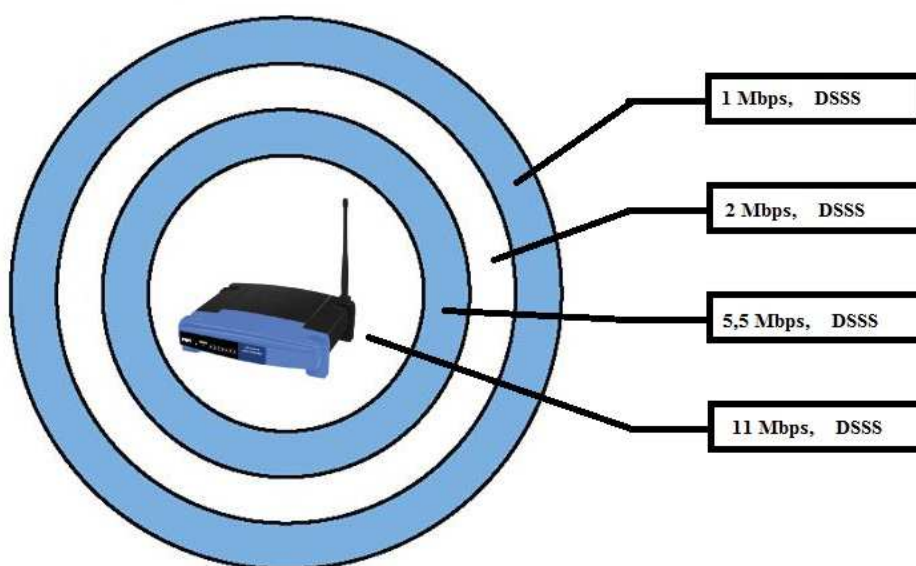
### 3.3.3. Standard IEEE 802.11b

Prema Tekoviću (2010.) 802.11 standard bio je uspješan, no daljnji razvoj tehnologije ga je prerastao. Ubrzo nakon implementacije 802.11 standarda, WLAN sustavi već su razmjenjivali podatke brzinama i do 11 Mbps. Bez standarda koji bi služio kao vodič za izradu ovakvih uređaja problemi su se pojavili u interoperabilnosti i implementaciji. Proizvođači su međusobnom suradnjom razriješili većinu implementacijskih prepreka te je posao IEEE-a bio relativno jednostavan, stvaranje standarda koji bi pokrivaio općenito prihvaćene operacije u bežičnom svijetu prisutne na tržištu. Nije uobičajeno da standard slijedi tehnologiju, pogotovo kada je riječ o brzo razvijajućoj tehnologiji. 802.11b standard ratificiran je 1990. godine. (Teković, 2010.)

IEEE 802.11b radi na 2,45 GHz, istoj frekvenciji kao 802.11, ali podržava još dvije brzine i to od 5,5 i 11 Mbps.

IEEE 802.11b dozvoljava korištenje samo DSSS prijenosne tehnike s brzinom prijenosa podataka do 11 Mbps (Rao, 2009.).

Slika 8: Brzine definirane za 802.11b



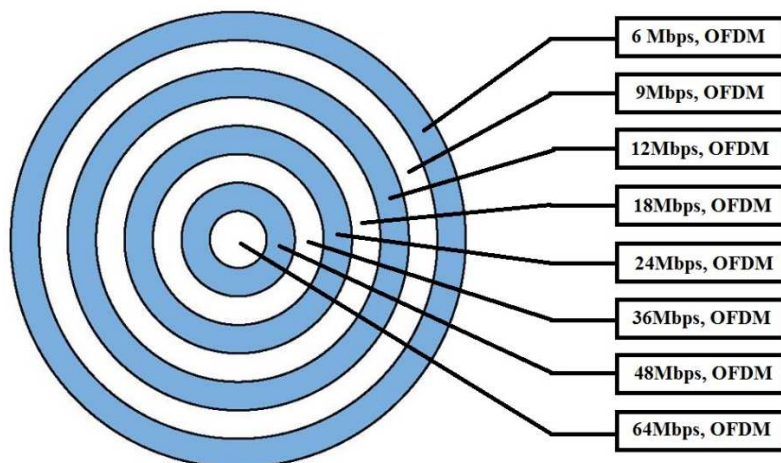
Izvor: Autor

### 3.3.4. Standard IEEE 802.11a

Zbog puno veće rasprostranjenosti opreme definirane 802.11b standardom često se pretpostavlja da je ovaj standard od strane IEEE definiran nakon 802.11b. No oba standarda 802.11a i 802.11b ratificirani su 1990. godine. Razlog tomu što se 802.11a isplativo sporije razvija od 802.11b su problemi oko međunarodnog usklađivanja frekvencijskog pojasa u kojem će raditi te skuplja terminalna oprema.

802.11a standard predstavlja WLAN uređaje koji rade u 5 GHz frekvencijskom području. Rad u tom višem frekvencijskom području automatski čini 802.11a uređaje nekompatibilnim sa svim ostalim uređajima koji zadovoljavaju druge 802.11 standarde. Razlog nekompatibilnosti je jednostavan, sustavi koji koriste 5 GHz frekvencije neće moći komunicirati sa sustavima koji koriste 2,4 GHz frekvencije. Iako bi se zbog prirode širenja elektromagnetskog vala moglo zaključiti kako će zbog višeg frekvencijskog pojasa 802.11a uređaji imati manji domet, često se može dogoditi upravo suprotno. Naime, „pretrpanost“ ISM 2,4 Ghz frekvencijskog područja (mikrovalne pećnice, bežični telefoni, *Bluetooth*, itd.) u kojem rade 802.11b uređaji, može uslijed visoke interferencije uzrokovati drastično smanjenje dometa pokrivanja. Standardom definirane brzine prijenosa su 6, 9, 12, 18,24, 36, 48, 54 Mbps. 802.11a oprema je dosta popularna u Americi i u nekim dijelovima Azije, no u Europi se puno ne koristi. Naime, 5 GHz frekvencijsko područje u nekim europskim zemljama koriste vojska i neki operateri satelitske televizije. Ovo je europske regulatore nagnalo da zabrane 802.11a standard dok se ne obave potrebna ispitivanja i utvrdi stvarna opasnost od interferencije s postojećim mrežama. U nekim europskim državama ispitivanje je privedeno kraju te je dozvoljena uporaba 802.11a opreme pod uvjetom da se ne koriste neki od 5 GHz kanala. 802.11a koristi OFDM modulacijsku tehniku. S obzirom da je zbog svojstva ortogonalnosti u OFDM-u omogućeno preklapanje podnosioca, spektralna efikasnost 802.11a sustava veća je od spektralne efikasnosti 802.11b sustava. Za razliku od 802.11b/g standarda, za 802.11a definirano je ukupno 28 frekvencijskih kanala ( 23 u Americi i 19 u Europi) širine 20 MHz koja se međusobno gotovo ne preklapaju, što omogućava veći kapacitet sustava. (Teković, 2010.)

Slika 9: Definirane brzine za 802.11a

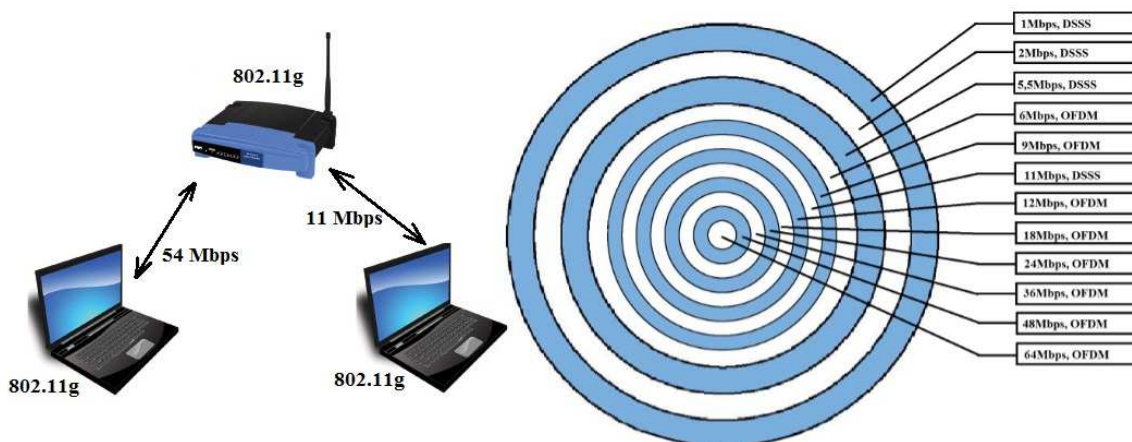


Izvor: Autor

### 3.4.5. Standard IEEE 802.11g

802.11g omogućuje maksimalnu brzinu prijenosa jednaku onoj kod 802.11a, uz kompatibilnost s 802.11b uređajima. Ova kompatibilnost čini nadogradnju bežičnih mreža jednostavnijom i jeftinijom. 802.11g specificira rad u 2,4 GHz ISM frekvencijskom području. Dostizanje viših brzina prijenosa jednakih onima kod 801.11a uređaja, 802.11g uređaji postižu korištenjem OFDM-a prijenosne tehnike. (Teković, 2010.)

Slika 10: Definirane brzine prijenosa za 802.11g



Izvor: Autor

#### 3.4.6. Standard IEEE 802.11n

U ožujku 2007. godine, IEEE 802.11n radna skupina usvojila je nacrt standarda pod nazivom 802.11n draft 2.0. Najveća novost u standardu IEEE 802.11n zasniva se na korištenju *MIMO* (engl. *Multiple Input – Multiple Output*) načela. Takav sustav karakterizira korištenje više antena kod prijemnika i predajnika kako bi se poboljšala pouzdanost i brzina prijenosa. Prema IEEE nacrtu standarda 802.11n uređaji bi trebali podržavati brzine prijenosa od 100 + Mbps. No već sada „draft 1“ ili „pre-11n“ uređaji koji se nalaze na tržištu podržavaju brzine prijenosa od 140 do 160 Mbps. U okviru radne skupine bilo je prijedloga o dizajnu koji bi podržavao brzine prijenosa do 540 Mbps.

U svibnju 2007. godine *Wi-Fi Alliance* je najavila početak certificiranja uređaja usklađenih s nacrtom standarda 802.11n draft 2.0. (Teković, 2010.)

#### 3.4.6. Standard IEEE 802.11ac

802.11ac je zadnji Wi-Fi standard koji je nastao iz 802.11n. Razlika između ova dva protokola je pouzdanost i radio frekvencijska učinkovitost propusnosti. 802.11ac je zamišljen kako bi se zadovoljila propusnost videa visoke rezolucije i bežičnih govornih aplikacija. Također 802.11ac će omogućiti bežični prijenos podataka više od 1 Gbps. 802.11ac je 5 Ghz tehnologija. Veća frekvencija ima po definiciji manji domet i lošije karakteristike prilikom prolazanja kroz zidove, ali sa druge strane je mnogo manje ometanja u 5 GHz frekvencijskom opsegu. Po dizajnu, 802.11ac je namijenjen za rad samo na 5 GHz frekvencijskog opsega. Na taj način se izbjegava velik dio smetnji na 2,4 GHz, uključujući Bluetooth slušalice i mikrovalne pećnice i pruža se jak poticaj korisnicima da nadgrade svoje mobilne uređaje (i hotspot pristupne točke) na dvostruku frekvenciju, tako da se 5 GHz može univerzalno koristiti. ([https://radovi2014.cuc.carnet.hr/modules/request.php?module=oc\\_proceedings&action=view.php&a=Accept&id=76&type=2](https://radovi2014.cuc.carnet.hr/modules/request.php?module=oc_proceedings&action=view.php&a=Accept&id=76&type=2))

### 3.5. Certifikati i organizacije

Certifikat je potvrda, pismeno uvjerenje kojim se označuje istinito stanje, okolnost o nekoj stvari, robi, stečenoj vještini. Certifikacija ili potvrđivanje je postupak kojim se potvrđuje sukladnost s propisanim zahtjevima, obuhvaća potvrđivanje proizvoda, procesa i usluga, ocjenjivanje i potvrđivanje sustava kakvoće dobavljača te ocjenjivanje osposobljenosti osoba koje obavljaju radnje u svezi s ispitivanjem, potvrđivanjem i ocjenjivanjem sustava kakvoće dobavljača. (<http://www.hemco.hr/norme-i-certifikacija.html>)

Organizacija je društvena cjelina koja je nastala svjesnim udruživanjem ljudi kako bi se koordiniranim aktivnostima ostvarili točno određeni ciljevi, a nadzire vlastito izvođenje i ima granice spram okružja. Izraz se koristi kolokvijalno i znanstveno. (<https://ldap.zvu.hr/~sonjak/Predavanja/Organizacija.pdf>)

#### 3.5.1. Wi-Fi Alliance

Wi-Fi Alliance promiče i testira interoperabilnost WLAN uređaja koji zadovoljavaju 802.11a 802.11b 802.11g i 802.11n (draft 2.0) standarde. Misija Wi-Fi Alliance-a je da certificira interoperabilnost Wi-Fi (802.11) proizvoda i promiče Wi-Fi kao globalni standard za bežične LAN-ove na svim segmentima tržišta. Administratori bežičnih mreža moraju riješiti konflikte koji postoje između bežičnih uređaja, a tiču se interferencije, nekompatibilnosti ili drugih problema. Kada proizvod ispuni zahtjeve postavljene Wi-Fi Alliance testnom matricom, Wi-Fi Alliance dodjeljuje proizvodu certifikat interoperabilnosti koji dozvoljava proizvođaču korištenje Wi-Fi loga. Ovaj logo bi trebao biti jamstvo sposobnosti uređaja da komunicira s drugim Wi-Fi uređajima.



Slika 11: Wi-Fi logo



Izvor: [http://www.wi-](http://www.wi-fi.org/sites/default/files/images/logos/WFA_CERTIFIED_Flat_Web_LR.png)

[fi.org/sites/default/files/images/logos/WFA\\_CERTIFIED\\_Flat\\_Web\\_LR.png](http://www.wi-fi.org/sites/default/files/images/logos/WFA_CERTIFIED_Flat_Web_LR.png)

### 3.5.2. FCC

FCC (engl. Federal Communications Commission) je agencija vlade SAD-a. FCC je u SAD-u uspostavio pravila koja definiraju koja frekvencijska područja (pojaseve) bežične mreže smiju koristiti te izlaznu snagu na svakom od ovih frekvencijskih područja. FCC je specificirao da WLAN-ovi mogu koristiti ISM nelicencirane frekvencijske pojaseve. ISM frekvencijska područja su: 902 MHz, 2,4 GHz i 5,8 GHz, a širina frekvencijskih pojasa je od 26 MHz do 150 MHz. Uz ISM frekvencijske pojaseve, FCC specificira tri područja, svaki od njih je u 5 GHz frekvencijskom području širine 100 MHz. (Teković, 2010.)

### 3.5.3. ETSI

ETSI (engl. European Telecommunication Standard Institute - Institut za europske telekomunikacijske standarde) ima ulogu donošenja komunikacijskih standarda u Europi. Primjerice, standard HiperLAN/2 kojeg je definirao ETSI ima sličnu namjenu kao standard 802.11a kojeg je donio IEEE. Postoje intenzivni razgovori o usklađivanju standarda iz grane

bežičnih tehnologija između IEEE-a i ETSI-a. To je ostvarilo i rad na inicijativi za 5 GHz unificirani protokol. (Teković, 2010.)

#### 3.5.4. CWNP

CWNP (engl. Certified Wireless Network Professional) je neprofitno udruženje u informacijskoj tehnologiji za Wi-Fi certificiranje i obuku. Osnovano je 1999., usmjereno na 802.11. bežične standarde te nudi šest različitih certifikata. CWNP djeluje u više od 150 zemalja i partnera i pruža informatičku obuku za one koji žele CWNP certifikat. (<https://www.cwnp.com/about>)

Slika 12: CWNP logo



Izvor: <http://www.ittc.co.za/Courses/CWNP.aspx>

## 4. WiMAX

WiMAX je jedna od najznačajnijih širokopojasnih bežičnih tehnologija, uz upotrebu radio frekvencijskog spektra od 3,5 GHz i 26 GHz. Očekuje se da dostavi usluge širokopojasnog pristupa stambenim i poslovnim korisnicima na ekonomičan način. WiMAX je standardizirana bežična verzija *Etherneta*<sup>10</sup> namijenjena prvenstveno kao alternativa žične tehnologije (kao što su kabelske, DSL i T1 / E1 veze).

([http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax\\_tehnologija.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf))

WiMAX tehnologije su koncipirane za udaljenosti do 50 km. Za slične udaljenosti (u idealnom slučaju do 30 km) su koncipirane i UMTS (3G) mreže, ali su im brzine prijenosa gotovo za dva reda veličine niže nego WiMAX tehnologije koja krajem 2006. godine doživljava svoju širu promociju.

Dvije su primjene u kojima će WiMAX pokazati svoje prednosti, a obje su vezane uz širokopojasni pristup internetu. S jedne strane, omogućit će implementaciju *broadbanda*<sup>11</sup> na području gdje je gradnja žičane infrastrukture komplicirana ili neisplativa. S druge strane, omogućit će konkurentskim operaterima da ponude širokopojasni internet po nižim cijenama i uz veće brzine od npr. T-Com-a.

Radijski dio WiMAX sustava temeljen je na OFDM tehnologiji prijenosa s 256 nosilaca. Korištenjem OFDM tehnologije, informacija koja se šalje radijskim putem raščlanjuje se na 256 međusobno nezavisnih, ortogonalnih, radijskih signala koji se na prijemnoj strani radijske veze ponovno slažu u koherentnu informaciju. Sustav radi u radio frekvencijskom području od 3,5 GHz, kako uz vidljivi kontakt (optičku vidljivost) između bazne postaje i

---

<sup>10</sup>Ethernet je mrežna tehnologija za LAN mreže, temeljena na frame načinu rada. To znači da se podaci šalju u paketima koji su prilagođeni za slanje preko računalne mreže.

<sup>11</sup>Širokopojasni pristup internetu (eng. broadband Internet access) ili često samo širokopojasni internet je zajednički naziv za načine povezivanja na internet koji omogućuju velike brzine prijenosa podataka.

pretplatničkog terminala, tako i bez njega. Između bazne stanice i korisničkog terminala ne mora postojati optička vidljivost, što omogućava korištenje u urbanim sredinama. To je omogućeno primjenom odgovarajućeg postupka radijskog prijenosa OFDM-om kojim se iskorištavaju raspršeni i reflektirani elektromagnetski valovi kako bi se u prijemu radijskog sustava uspješno rekonstruirao primljeni signal. U praksi jedna bazna stanica može opslužiti korisnike u krugu do 15 kilometara s brzinama prijenosa do 12 Mbps, što opet ovisi o samom kapacitetu propusnosti bazne stanice. (Padarić, 2009.)

WiMAX djeluje slično kao Wi-Fi, ali na višim brzinama preko veće udaljenosti i za veći broj korisnika. WiMAX ima sposobnost za pružanje usluga u područjima teško dostupna za žičanu infrastrukturu kako bi se postigla sposobnost nadvladavanja fizičkih ograničenja tradicionalne žičane infrastrukture. U 2001. godini osnovan je WiMAX forum s namjerom da na tržište plasira i promovira standard 802.16. Odabran je termin WiMAX. ([http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax\\_tehnologija.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf)) ([http://www.tutorialspoint.com/wimax/what\\_is\\_wimax.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/what_is_wimax.htm))

#### 4.1. Osnovni princip povezivanja WiMAX-a

Uređaji koji pružaju mogućnosti povezivanja na WiMAX mreže poznati su kao SS (engl. Subscriber Station - pretplatnička postaja). Prijenosni uređaji uključuju ručne setove (slične mobilnim pametnim telefonima), računalnu periferiju (PC kartice ili USB uređaje) i ugrađene uređaje za prijenosna računala koji su danas dostupni i za Wi-Fi. Osim toga, operatori stavljaju naglasak na elektroničke uređaje kao što su igraće konzole, MP3 playeri i slični uređaji. WiMAX je sličniji Wi-Fi-u nego druge 3G mobilne tehnologije. WiMAX Forum daje popis certificiranih uređaja, međutim, to nije potpuni popis dostupnih uređaja kao što su moduli ugrađeni u prijenosna računala i ostali privatno označeni uređaji. WiMAX pristupni uređaji dostupni su kao unutarnje i vanjske verzije od nekoliko proizvođača, uključujući Vecima Networks, Alvarion, Airspan, ZYXEL, Huawei i Motorola. Mnogi od WiMAX pristupnih uređaja koji se nude samoinstalacijski su proizvodi za unutarnju primjenu. Takvi uređaji obično su smješteni blizu prozora gdje je signal najjači. Vanjske jedinice otprilike su veličine

prijenosnih računala, a njihova montaža može se usporediti s instalacijom stambene satelitske antene. Veći vanjski uređaji rezultirat će povećanjem dometa, ali i smanjenjem praktičnosti mobilnosti uređaja. USB može osigurati povezanost s WiMAX mrežom preko WiMAX adaptera. WiMAX USB adapteri slabije hvataju signal u usporedbi s drugim uređajima pa se takvi koriste u područjima dobre pokrivenosti signalom. WiMAX tehnologija nije naišla veliku primjenu u svijetu mobilnih telefona. HTC je 12. studenog 2008. godine objavio prvi WiMAX mobilni telefon, Max 4G. Uređaj je dostupan samo određenom tržištu u Rusiji na Yota mreži. Kasnije HTC i Sprint Nextel objavljuju drugi WiMAX mobilni telefon, EVO 4G, 23. ožujka 2010. godine, na konferenciji u Las Vegasu. Uređaj, koji je dostupan od 4. lipnja 2010. je sposoban za oboje EV-DO (3G) i WiMAX (pre-4G) tehnologije, kao i istovremeno prenošenje podataka i glasa. Sprint Nextel najavio je na CES 2012 da više neće nuditi uređaje koji koriste WiMAX tehnologiju zbog financijskih okolnosti. (<https://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>)

#### 4.2. Mobilni WiMAX sustav

Mobilni WiMAX je baziran na IEEE 802.16e standardu te taj standard kao i svi IEEE 802.xx standardi definira specifikacije za sloj pristupa mediju *MAC*<sup>12</sup> (engl. Media Access Control) i fizički sloj te će se ovaj rad kod opisa rada sustava mobilnog WiMAX-a koncentrirati samo na ta dva sloja. Sloj pristupa mediju odgovoran je za određivanje koja pretplatnička stanica (SS) može pristupiti mreži te se sastoji od tri podsloja, dok je fizički sloj zadužen za vrstu modulacije i tehnike višestrukog pristupa koja će se koristiti za prijenos podataka kroz medij. (Behin, 2013.)

---

<sup>12</sup>MAC adresa u računalnim mrežama je jedinstven označivač ili ključ koji se nalazi u skoro svim mrežnim uređajima.

Slika 13: Mobilni WiMAX



Izvor: <http://www.airspan.com/wp-content/uploads/2010/09/3-color-USB.gif>

#### 4.2.1. Mrežna arhitektura

WiMAX mreža nalikuje stanične mobilnoj mreži. Svaka stanica sastoji se od bazne stanice (BS (engl. base station)) ili jedne ili više pretplatničkih stanica (SS (engl. subscriber station)) zavisno od korištene topologije. Bazna stanica osigurava *PtP*<sup>13</sup> (engl. *PtP* - *Point-toPoint*) i *PtM*<sup>14</sup> (engl. *Point – to - Multipoint*) topologiju. Pretplatnička stanica može biti montirana na krovu ili zidu kao pretplatnička oprema ili može biti zaseban ručni uređaj kao što je mobilni uređaj, tablet, PCI krtica stolnog ili prijenosnog računala itd. U slučaju vanjske pretplatničke opreme montirane na krovu, korisnici su u unutrašnjosti zgrade spojeni na konvencionalnu mrežu kao što je Ethernet LAN. (Behin, 2013.)

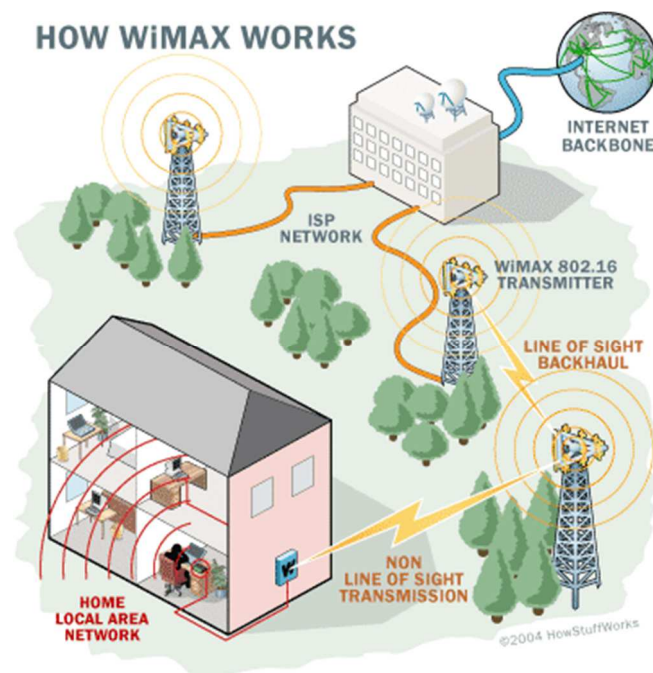
---

<sup>13</sup>*PtP*(engl. *Point-to Point*) veza između jednog pošiljatelja i jednog primatelja.

<sup>14</sup>*PtM*(engl. *Point-to-Multipoint*) komunikacija sa baznom stanicom korištenjem topologije točka – više točaka.

Opća arhitektura WiMAX mreže prikazana je na slici 14. Bazna stanica sadrži odašiljačku/prijemnu opremu za odašiljanje/prijem signala do/od korisničke opreme te uređaje koji omogućuju povezivanje na javne mrežne operatere (DLS, 3G). Na baznu stanicu priključeni su različiti korisnici, pojedinačni korisnici (tablet, pametni telefon), mali i kućni uredi, mala i srednja poduzeća i blokovi zgrada. (Behin, 2013.)

Slika 14: Opća arhitektura WiMAX-a



Izvor: <http://s.hswstatic.com/gif/wimax-diagram.gif>

#### 4.2.2. Mrežna oprema

WiMAX sustav u suštini se može podijeliti na dva dijela: mrežni i korisnički; čiji su glavni predstavnici bazna stanica te korisnička oprema (WiMAX prijemnik). Bazna stanica daje usluge pretplatnicima tj. korisničkoj opremi koristeći veze sa optičkom vidljivosti i bez optičke vidljivosti. WiMAX bazna stanica sastoji se od unutrašnjeg primopredajnika i WiMAX tornja (jedna ili više WiMAX antena). Primopredajnik bazne stanice sastoji se od nekoliko modularnih jedinica: jedinica za procesiranje, pristupna jedinica i jedinica za napajanje. Korisničku opremu u WiMAX sustavu predstavlja prijemnik sa antenom (koja je odvojena ili ugrađena u sam uređaj) ili je to kartica koja se stavlja u stolno ili prijenosno računalo, a može biti i ugradbeni čip. (Behin, 2013.)

### 4.3. WiMAX Standardi

Prva verzija standarda IEEE 802.16 je objavljena 2001. godine i do danas je prošla mnoge promjene i nadopune kako bi se prilagodila novim osobinama i funkcijama. Trenutne podržane verzije standarda IEEE 802.16 su: IEEE 802.16 – 2004 i IEEE 802.16e. U sljedećim godinama možemo očekivati i potpunu implementaciju IEEE 802.16m standarda.

Nakon mjeseci rada i usuglašavanja mišljenja i prijedloga, IEEE i formalno je odobrio mobilni WiMAX standard i dao mu oznaku 802.16e. Mobilni WiMAX donio je očekivano, veću brzinu prijenosa podataka, a u nekim će slučajevima zamijeniti WiFi u gradovima. (<http://www.poslovni.hr/tehnologija/mobilni-wimax-i-sluzbeno-postao-standard-862>)

#### 4.3.1. Standard IEEE 802.16

IEEE 802.16 radna skupina osnovana je kako bi radila na širokopojasnom bežičnom povezivanju. Grupu je osnovao Roger Marks sa Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju. Radili su na frekvencijskom opsegu 10-66 GHz-a koristeći modulaciju s jednim nosiocem. U ožujku 2000. godine frekvencijski opseg od 10 GHz je odobren, što je na kraju rezultiralo 802.16a standardom. (Wong 2012.)

IEEE 802.16 – 2001 omogućava mrežni pristup zgradama preko vanjskih antena koje komuniciraju sa baznom stanicom koristeći topologiju točka – više točaka. Važna osobina IEEE 802.16 – 2001 standarda je njegova mogućnost da pruža različitu kvalitetu usluge na MAC sloju. Važno je naglasiti da IEEE 802.16 – 2001 radi samo u *LOS* (*engl. Line of Sight*) uvjetima. (Behin, 2013.)



#### 4.3.2. Standard IEEE 802.16a

IEEE radna Skupina izdaje 2003. godine standard IEEE 802.16a koji radi unutar licenciranog i nelicenciranog frekvencijskog opsega 2 – 11 GHz-a i omogućava *NLOS* (*engl. No Line of Sight*) komunikaciju i pokrivenost stanice do 50 kilometara uz prosječnu brzinu od 75 Mbps. Dodatna mogućnost IEEE 802.16a standarda su mrežne operacije koje omogućavaju 15 korisnik – korisnik komunikaciju. Kao alternativa modulaciji s jednim nosiocem uključena je mogućnost korištenja OFDM-a. 802.16a koristi isti MAC sloj kao 802.16, ali ima drukčije komponente u fizičkom sloju (Anderson, 2003.). IEEE 802.16a standard nije više u primjeni.

#### 4.3.3. Standard IEEE 802.16 – 2004

U početku ovaj standard je bio objavljen pod imenom IEEE 802.16d, ali revizijom je izmijenjen toliko da je promijenio naziv u IEEE 802.16 – 2004. Za rad koristi oba frekvencijska opsega definirana u IEEE 802.16 – 2001 i IEEE 802.16a kao i NLOS i LOS komunikaciju. To je tehnologija fiksnog bežičnog pristupa projektirana da služi kao bežična DSL tehnologija i da se nadmeće s postojećim DSL i kablovskim poslužiteljima. Također je zamišljen da pruža osnovne telefonske usluge i širokopojasni pristup u nepristupačnom području gdje ne postoji druga tehnologija pristupa kao npr. zemlje u razvoju ili seoska područja u razvijenim zemljama gdje je ekonomski neisplativo dovesti žice i kablove. (Behin, 2013.)

#### 4.3.4. Standard IEEE 802.16e

IEEE 802.16e standard nazivan još i mobilni WiMAX objavljen je u veljači 2006. godine i uvodi novosti na PHY i MAC sloju. Radi na licenciranim frekvencijskim opsezima manjim od 6 GHz-a pogodnim za mobilnu komunikaciju. Na fizičkom sloju koristi skalabilni OFDMA koji daje mogućnost korištenja i kombiniranja različitih širina spektra i modulacijskih

te podatkovnih shema. Koristi MIMO antenske sustave za povećanje pokrivenosti i brzine prijenosa podataka. Promjene na MAC sloju su značajne u odnosu na IEEE 802.16 – 2004 standard kako bi se omogućila podrška za mobilnost. IEEE 802.16e omogućava prijelaz mobilnih stanica iz područja jedne u područje druge bazne stanice. Također IEEE 802.16e definira dva načina upravljanja snagom mobilne stanice, mirovanje (engl. idle) i spavanje (engl. sleep). Mobilna stanica je u mirovanju kada se ne želi spojiti na određenu baznu stanicu kad prolazi područjem koje pokriva više baznih stanica. Mobilna stanica je u modu spavanja kada šalje zahtjev da je nedostupna prema baznoj stanici. Nakon što bazna stanica odgovori, mobilnoj stanici se dodjeljuje određeni vremenski interval u kojem će ona biti u modu spavanja. Na početku razvoja ovog standarda frekvencijski opseg u kojem će raditi mobilni WiMAX nije odmah usvojen, već su predložene frekvencije od 2,5 – 5 GHz-a. (Behin, 2013.)

IEEE 802.16e ima prednost jednostavnosti te niskih troškova hardvera i softvera, što ga čini jednostavnim za implementaciju. No prekidi primopredaje podataka još su uvijek na visokoj razini što ovaj standard čini nedostupnim za pojedine aplikacije, kako bi se otklonio ovaj problem uvedeni su novi poboljšani algoritmi. (Makaya, 2012.)

802.16e može ponuditi potpunu mobilnosti za WiMAX i na taj način se može se smatrati kao pravi konkurent za 3G, na primjer u IP prometu.

(<http://www.cs.tut.fi/kurssit/TLT-6556/Slides/3-802.16e.pdf>)

#### 4.3.5. Standard IEEE 802.16m

IEEE 802.16m standard nastao je da se dostignu ili prestignu potrebe 4G mreža. Dizajniran je da podržava frekvencije u svim licenciranim pojasevima ispod 6 GHz-a te da uključuje TDD, FDD i poludupleksni 18 FDD (H - FDD). IEEE 802.16m standard ima sljedeće poboljšane performanse u odnosu na IEEE 802.16e, veća pokrivenost stanice i spektralna učinkovitost, veći kapacitet prijenosa podataka i mogućnost *VoIP-a* (engl. *Voice over Internet Protocol*)<sup>15</sup>, interoperabilnost sa ostalim bežičnim mrežama, štednja energije mobilne stanice, napredne funkcije i servisi. (Behin, 2013.)

Za 20 MHz sektor brzina prijenosa je podataka u 802.16e je 128 Kbps, to je 350 Mbps na 802.16m. Mobilnost u 802.16e je od 60 do 120 km/h, u 802.16m je do 350 km/h. To čini WiMAX tehnologiju učiniti učinkovitijom za osjetljive VoIP usluge. (<http://www.rfwireless-world.com/Articles/80216m.html>)

#### 4.3.5. WiMAX Forum

WiMAX Forum je industrijska, neprofitna organizacija osnovana 2001. godine s ciljem da promovira i vrši certifikaciju kompatibilnih interoperabilnih širokopojsnih bežičnih proizvoda. Osnovali su ga proizvođači opreme kako bi podržali 802.16x BWA (engl. Broadband Wireless Access) standarde i osigurali kompatibilnost opreme što vodi smanjenju troškova pri njihovoj implementaciji.

---

<sup>15</sup>VoIP je skraćenica od eng. složenice Voice over Internet Protocol i ime je za komunikacijsku tehnologiju koja omogućava prijenos zvučne komunikacije preko internetske mreže.

Slika15: Logo WiMAX Forum-a



Izvor: <http://thebestwirelessinternet.com/wp-content/uploads/2014/01/disadvantages-of-wimax.png>

WiMAX Forum radi ono što je Wi-Fi Alliance uradio za bežični LAN (engl. Local Area Network) odnosno IEEE 802.11 standard. WiMAX Forum Certified™ proizvodi pridržavaju se IEEE 802.16x standarda i nude širi opseg, niže cijene i više servisa od većine dostupnih rješenja. Forum radi na tome da uspostavi osnovnu liniju protokola koja omogućava interoperabilnost opreme i uređaja različitih proizvođača.

([http://www.wimaxforum.org/Page/Membership/vision\\_and\\_mission](http://www.wimaxforum.org/Page/Membership/vision_and_mission))

WiMAX Forum ima više od 500 članova preko više od 150 zemalja koje čine proizvođači opreme, dobavljači, servisi. Neki od uglednih članova su: Intel, Motorola, Alcatel, Fujitsu, Siemens i dr. WiMAX Forum vrši provjeru i certifikaciju proizvoda. Postoje tri laboratorija za certificiranje : CETECOM u Španjolskoj, TTA u Južnoj Koreji i CART u Kini. WiMAX Forum će slijediti IEEE tradiciju da bude slobodan i kompletan bilo da se radi o fiksnoj, nomadskoj ili mobilnoj bežičnoj tehnologiji.

([http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax\\_forum.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_forum.htm))

## 5. Usporedba WLAN i WiMAX tehnologija

Jedna od osnovnih grešaka koja se potkrada ljudima jest da WiMAX poistovjećuju sa Wi-Fi-em. Iako s tehničke strane ova dva standarda imaju mnogo toga zajedničkog (pošto oba koriste već postojeća rješenja za radio-komunikacije), razlikuju se prije svega u namjeni. WiMAX je sličan Wi-Fi tehnologiji, uz jednu ključnu razliku - mnogo veći domet signala, koji kod WiMAX-a može ići od 15 do 30, pa i do 50 kilometara

Neki od nedostataka Wi-Fi-a su mali domet i brzina prijenosa (usprkos poboljšanju standarda), nepogodnost samog protokola komunikacije za rad sa velikim brojem korisnika, korištenje radio-frekvencija u opsezima za koje nije potrebna dozvola, što nameće posebna ograničenja u snazi predajnika i prisiljava ovakve mreže da rade u generalno zauzetom dijelu spektra, nedovoljno dobar sistem za osiguranje kvalitete usluge kao i izuzetno ograničene mogućnosti u području mobilnih komunikacija i nizak stupanj sigurnosti. S druge strane imamo WiMAX. Po svojoj definiciji, WiMAX nudi uređaje koji osiguravaju bežičnu komunikaciju po mogućnostima sličnu Wi-Fi-u, nudeći pri tom dostupnost, pouzdanost i kvalitetu usluge po uzoru na mobilne mreže treće generacije. Za razliku od Wi-Fi-a, WiMAX nudi veći maksimalan domet (do 50 km) i veću maksimalnu brzinu prijenosa (do 75 Mbit/s) kako pri povezivanju pri optičkoj vidljivosti tako i u njenom odsustvu, koje prate visok nivo pouzdanosti i dostupnosti, kao i sigurnosti. Za potrebe pružanja usluga kao što su VoIP i audio/video *streaming*<sup>16</sup>, WiMAX predviđa napredan sistem osiguranja kvaliteta usluga nalik ATM-u. Pored toga, Razlike između Wi-Fi-a i WiMAX-a su, kao što vidimo, dovoljno velike da ova dva standarda ne predstavljaju konkurenciju jedan drugom. Naprotiv, s obzirom na to da je introperabilnost jedna od riječi koje čine puno ime WiMAX-a, standard predviđa upotrebu Wi-Fi tehnike za distribuciju servisa krajnjim korisnicima. Uz to, WiMAX je usklađen za rad sa pojedinim standardima koji su mu u početku predstavljali direktnu konkurenciju kao što su europski HiperMAN i korejski WiBro. Osnovna konkurencija WiMAX-a trenutno je LTE, mada se i u ovom slučaju može očekivati sklad. (<http://www.sk.rs/2009/03/skpr01.html>)

---

<sup>16</sup>Streaming Media ili Internet streaming generički je naziv za tehnologiju prijenosa streaming audio i streaming video (poznati i kao web-radio i web-tv). Označava prijem i istovremeno reproduciranje audio i video podataka putem računalne mreže.

Raspon WiMAX-a i njegove superiorne sposobnosti da prođe kroz prepreke čini ga idealnim za određene primjene, pogotovo kao zamjenu povezivanju putem kablova kao kod DSL linije. Brzina koja se može postići s WiMAX nije konstantna iako je obrnuto proporcionalan udaljenosti između bazne stanice i pretplatnika.

Dvije tehnologije također se razlikuju u vrsti MAC adrese. Wi-Fi se temelji na principu da svi klijenti koriste istu pristupnu točku. Stanice najbliže korisniku imaju najviši prioritet. WiMAX koristi MAC za raspoređivanje algoritma koji osigurava svakog klijenta da dobije komunikaciju s pristupnom točkom u određenom vremenskom periodu. Razdoblje dodijeljeno svakom klijentu može se smanjiti ili proširiti ovisno o potrebama klijenta. Bez obzira na poboljšanja WiMAX-a kako bi se osigurala propusnost, još uvijek može patiti od zastoja zbog broja priključenih korisnika baš kao i Wi-Fi. Jedino rješenje za ovaj problem bio bi dodati još radio kartice kako bi se osigurala upotreba svim korisnicima.

[\(http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-wlan-and-wimax/\)](http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-wlan-and-wimax/)

## 5.1. Osnovna infrastruktura i domet

WLAN je alternativa žičnom LAN-u jer pruža korisnicima mobilnost za pomicanje s jednog mjesta na drugo bez razmišljanja o žicama. Tu je narasla popularnost WLAN-a, naravno i zbog sve nižih cijena prijenosnih računala koja su ubrzala sam razvitak WLAN-a. WiMAX vrlo jednostavno omogućava pristup tamo gdje WLAN ne može doći. WiMAX je sve popularnija tehnologija, zbog mogućnosti koje pruža. Infrastruktura WLAN-a ima niže troškove od WiMAX-a, ali WiMAX to nadmašuje u svojim mogućnostima.

WiMAX i WLAN koriste se uglavnom za prijenos podataka. WiMAX pokriva veću udaljenost (oko 50 km) u usporedbi s WLAN-om (oko 30 m). WiMAX tehnologija je slična Wi-Fi u tome što omogućava korisnicima da se povežu na internet bez žica. Za razliku od Wi-Fi-a, koji može pokriti cijelu zgradu ili gradski blok, WiMAX može pokriti ogromne udaljenosti (slično mreži mobilnih telefona) i pružiti velike brzine pristupa internetu (poput broadband-a).

Slika 16: Pokrivanje WiMAX-a



Izvor: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax\\_tehnologija.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf)

To je dakle bežični širokopojasni pristup. Za korisnika to znači da mogu pristupiti internetu koristeći primjerice prijenosno računalo sa skoro bilo koje geografske lokacije, a ne samo iz lokalnog kafića i slično.

(<http://onlinetrziste.com/2010/09/sta-je-wimax-i-kako-on-ustvari-radi/>)

WLAN je postao popularniji od WiMAX, zbog manjih troškove infrastrukture. U današnje vrijeme centri, kafići, restorani pružaju Wi-Fi uslugu, tako da posjetitelji mogu iskoristiti internetske objekte uz korištenje Wi-Fi hotspotova.

## 5.2. Frekvencija

Iako standardi koje promovira WiMAX predviđaju korištenje frekvencijskih opsega za koje nije potrebna dozvola (nelicencirani opsezi), naglasak se stavlja na korištenje opsega za koje je potrebna dozvola (licencirani), što za posljedicu ima veći stupanj slobode pri korištenju WiMAX-a u telekomunikacijskoj infrastrukturi. WLAN radi na frekvenciji 2,4 GHz, 5 GHz, dok WiMAX radi u frekvencijskom pojasu od 2 do 11 GHz za sada po osnovnom 802.16 standardu, međutim, spominju se frekvencije od čak 26 GHz. Kako bi se izbjegla interferencija, potrebno je različitim bežičnim mrežama dodijeliti različite frekvencije. Dodjeljivanjem frekvencija iz radio frekvencijskog spektra. Svakoj bežičnoj tehnologiji je dodijeljen točno određeni frekvencijski pojas.

Tablica 2: Komparacija Wi-Fi i WiMAX-a po frekvencijama

	WiFi(802.11a)	WiFi(802.11b)	WiFi(802.11g)	WiMAX(802.16)
Frekvencija(GHz)	5	2.4	2.4	+2.66
Brzina(Mbps)	54	11	54	+80
Domet	50m	100m	100m	50km
Radio tehnologija	OFDM	DSSS	OFDM(64-)	OFDM(256-)
Primjena	WLAN	WLAN	WLAN	Širokopolasni bežični prístup

Izvor: [http://vlssit.iitkgp.ernet.in/ant/v\\_media/images/theory/ant/06/theory\\_06\\_02.jpg](http://vlssit.iitkgp.ernet.in/ant/v_media/images/theory/ant/06/theory_06_02.jpg)

## 5.3. Brzina prijenosa podataka

WLAN 802.11 standard u početku je omogućavao brzine prijenosa podataka od 1 Mbps i 2 Mbps, kasnije u 802.11b do 11 Mbps. Nadalje 802.11a brzo je dostigao prijenose od 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps. 802.11n omogućuje brzinu prijenosa od 140 - 160 Mbps, a u okviru



radne skupine raspravljalo se i o brzinama od 540 Mbps. WiMAX 802.16e standard podržava 128 Kbps, što je u 802.16m standardu 350 Mbps. Ako razmotrimo moguće primjene WiMAX-a uočavamo veliku fleksibilnost koncepta koji pokazuje velike brzine prijenosa podataka kad su u pitanju priključci većih korisnika, tj. korisnika koji trebaju razmjenjivati mnogo podataka u kratkom vremenu. WiMAX tehnologija je prilagođena i priključivanju domaćinstava na internet. Kod toga treba spomenuti da WiMAX može simultano prenositi VoIP, video i internet podatke. WiMAX oprema pruža usluge velike brzine u odnosu na kratki domet WLAN i niske brzine 2G i 3G tehnologije.

WLAN je ograničen na unutarnju uporabu u zgradama, kućama, kafićima dok WiMAX osigurava daleko veću pokrivenost.

Tablica 3: Komparacija pokrivenosti Wi-Fi i WiMAX-a

	IEEE 802.11	IEEE 802.16a
Brzina	54Mbps(a,g)	10-100Mbps
Domet	100m	50km
Pokrivenost	Unutarnja	Vanjska
Korisnici	stotine	tisuće

Izvor: <http://rockz-underground.blogspot.hr/2010/04/wimax-vs-wifi.html>

## 6. Primjena WLAN I WiMAX tehnologije

Povećanjem broja prijenosnih uređaja kao što su laptopi, pametni mobiteli i tableti Wi-Fi postaje sve popularniji radi spajanja uređaja bez žica što omogućava veću mobilnost uređaja, jednostavnije povezivanje i povećanje estetskog dojma ureda i domova izbacivanjem žica koje su polazile kroz zidove ili uz rub zidova. Uvođenjem bežičnih *routera* danas sve uređaje koji posjeduju bežičnu karticu možemo povezati na internet i komunicirati s njima na neograničenim udaljenostima. Idealna primjena Wi-Fi-a moguća je kod projektiranja pametnih domova gdje se svaki električni uređaj može opremiti raznim sensorima i bežičnim karticama te se tako dobije bežični sustav pomoću kojeg se mogu nadzirati svi uređaji i pomoću kojega je moguće upravljati svim uređajima putem računala, pametnog mobitela ili tableta.

Slika 17: Povezivanje uređaja u pametnom domu



Izvor:

[http://www.chinaseniorsupplier.com/Lights\\_Lighting/Other\\_Lights\\_Lighting\\_Products/162612130/smart\\_G4\\_DALI\\_Bridge\\_Module.html](http://www.chinaseniorsupplier.com/Lights_Lighting/Other_Lights_Lighting_Products/162612130/smart_G4_DALI_Bridge_Module.html)

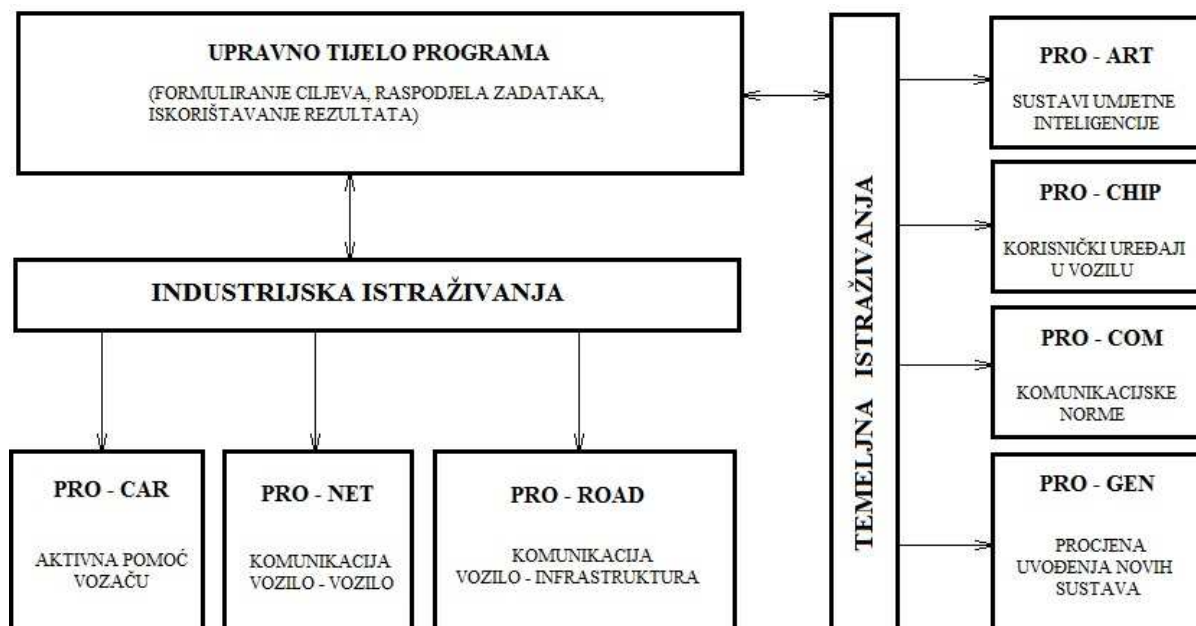
Najčešća primjena WiMAX tehnologije za sada je da služi kao bežični produžetak interneta na čijim je krajevima WLAN mreža te da tako omogući pristup internetu malim korisnicima u krajevima teško dostupnim za žičani internet. U 2016. godini jedini WiMAX koncesionar u Hrvatskoj je tvrtka „Novi-Net d.o.o.“ koja pruža svoje usluge na području grada Čakovca. Mnoge druge tvrtke su nudile svoje usluge ali su s vremenom ugašene ili su odustale od WiMAX tehnologije. Zbog velike brzine WiMAX tehnologija je zanimljiva velikim korisnicima tj. korisnicima koji razmjenjuju veliku količinu podataka kao što su tvrtke, instituti i sl. Zbog velike pojave pametnih automobila i ostalih prijevoznih sredstava te kako bi se povezala WiMAX tehnologija i informacijski sustavi moguća primjena prikazati će se mogućom integracijom WiMAX-a u sustav PROMETHEUS (engl. Program for European Traffic, with Highest Efficiency and Unprecedented Safety). Sustav PROMETHEUS predstavlja:

- Učinkovito informiranje (informacije o vidljivosti, detekcija zapreka, upozorenje o vozilu, o vozaču, o cesti, o okruženju).
- Pružanje različitih pomoći vozaču u tijeku vožnje (dinamička kontrola vozila, kontrola rubova kolnika, pomoćne informacije), sudjelovanje (pomoć) u vožnji (autonomna vožnja trakom, upozorenja, izbjegavanje sudara).
- Upravljanje prometom i prijevoznim sredstvima (planiranje voznih redova, povezivanje (uključivanje) na javni prijevoz, vođenje (navigacija) vozila gradskom mrežom prometnica, komercijalno upravljanje voznim parkom, priključivanje na sustav za informiranje vozača u prometu itd).

Kako svaki informacijski sustav treba imati svoj netware (komunikacijska povezivanja elemenata i dijelova sustava u cjelini) WiMAX bi tu mogao imati idealnu primjenu kao poveznica između pametnih vozila i centrala sa bazama podataka u velikim gradovima tako i na autocestama. U vozilima bi tako bio dostupan internet, informacije o vremenskim uvjetima, o uvjetima i stanju na prometnicama u realnom vremenu. Integracijom WiMAX-a,

PROMETHEUSA i globalnog pozicijskog sustava mogli bi u budućnosti dobiti sustav pomoću kojeg bi svako vozilo imalo pristup potrebnim informacijama i sustav pomoću kojeg bi se mogle dobiti informacije o svakom vozilu u slučaju da se nađe u prekršaju, kvaru ili nesreći.

Slika 18: Temeljna organizacijsko - funkcionalna struktura sustava PROMETHEUS



Izvor: Miloš, 2011.

## 7. Budućnost računalnih mreža

Prema Vukšiću (2012.) predviđa se da će se u budućnosti sve više razvijati multimedijalne mreže, a bit će sve više globalnih mreža. Osim računala, u mreže će se povezivati i razni drugi uređaji kao što su mobiteli, kućanski aparati, senzori, televizori i automobili te različita oprema. Javljat će se „pametni uređaji“ koji mogu stvarati, slati, primiti, koristiti i obrađivati informacije u svim oblicima.

Primjena posebne bežične mreže (engl. Wireless Sensor Networks - WSNs) vidljiva je u medicini gdje liječnicima omogućuje da bežično s pomoću senzora prate svoje pacijente. Senzori prikupljaju ključne informacije o pacijentima kao što su informacije o vitalnim znakovima pacijenata, tjelesne funkcije, ponašanje pacijenta, okolina u kojoj se nalaze i slično. Nastupanjem neke netipične situacije, npr. iznenadnog poremećaja krvnog tlaka ili infarkta, odmah se šalje medicinsko osoblje u pacijentovu kuću.

Drugi primjer jest funkcioniranje pametnih kuća. Pametne kuće imaju cijeli niz mreža s pomoću kojih se može upravljati različitim uređajima i kućanskim aparatima s pomoću glavnog računala. Moguće je i upravljanje na daljinu ako vlasnici nisu kod kuće, pa čak ako su udaljeni i na tisuće kilometara. U takvoj kući uređaji su međusobno povezani i primjerice, kada perilica rublja opere rublje, sušilica ga automatski osuši, a na zaslonu televizora, računala ili mobitela pojavi se poruka da je rublje oprano. Sve više se istražuje i mogućnost upravljanja različitim uređajima s pomoću glasa i to posredstvom različitih mreža koje međusobno povezuju te uređaje. (Vukšić, 2012.)

Navedeni primjer naziva se IoT (engl. Internet of Things – Internet stvari), naziv mu je dao Mark Weiser. Internet stvari postaju veliki posao budućnosti. Prema Gartnerovoj analizi iz 2015. godine 15% kompanija već koristi IoT u svom poslovanju, najčešće logistici.

([https://hr-wikipedia.org/wiki/Internet\\_stvari](https://hr-wikipedia.org/wiki/Internet_stvari))

Standardi kao što su 802.16 neprekidno se trebaju razvijati. Samo uzimajući u obzir način na koji se tehnologija kreće i na nove zahtjeve za 802.16. Jedan dobar primjer razvitka je standard *Ethernet*. Ovaj standard je ostao u upotrebi dugi niz godina, a to će vjerojatno i ostati. To je postignuto nadogradnjom standarda koji je išao u korak s korisnicima. Ostao je glavni standard za umrežavanje više od 30 godina. To se također može desiti i sa 802.16 standardom, ako IEEE nastavi sa razvitkom standarda u korak s potrebama korisnika.

(<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/ieee-802-16-standards.php>)

Li-Fi (eng. Light Fidelity) ime je za komunikacijsku tehnologiju koja koristi spektar vidljivog svjetla za prijenos podataka, prenosi podatke koristeći LED svjetla, koja se pale i gase u razmacima od nanosekunde, pa su zbog toga neprimjetna za ljudsko oko. Tehnologija je izumljena i testirana još 2011. godine, a znanstvenici su u laboratorijskim uvjetima dostigli nezamislivu brzinu prijenosa od 224 Gb u sekundi. Drugim riječima, pri takvoj brzini tehnički bi mogli preuzeti 18 filmova od 1,5 GB u jednoj jedinjoj sekundi.

Loša strana Li-Fi tehnologije je što za razliku od Wi-Fi signala ne prolazi kroz zidove jer je temeljen na svjetlu, pa ima ograničen domet. Opet, zbog ograničenog dometa Li-Fi je puno sigurniji od hakerskih napada. Li-fi također otvara nove mogućnosti u svakome domu. Naime, LED svjetla bi mogla imati dvostruku funkciju. Osim što će osvjetljavati dnevnu sobu, LED svjetla će pomoći u kreiranju mreže koja će spajati sve uređaje u stanu ili kući.

(<http://www.techworld.com/big-data/what-is-li-fi-everything-you-need-know-36327>)

## 8. Zaključak

Bežično umrežavanje računala je najjednostavniji način umrežavanja. Kao medij prijenosa podataka koristi se tehnologija radiovalova. Na takav način moguće je prenositi podatke na različite udaljenosti od nekoliko metara pa sve do milijuna kilometara. Bežično umrežavanje postaje sve popularnije pa se samim tim povećava i broj WLAN-ova, što omogućava povezivanje uređaja unutar ureda ili kućanstava sa minimalnom uporabom žica što omogućuje i mobilnost uređaja. Bežičnu opremu bilo je potrebno standardizirati kako bi se mogli povezivati uređaji različitih proizvođača. Zbog korištenja radio-frekvencija u opsezima za koje nije potrebna dozvola nameću se posebna ograničenja u snazi predajnika radi smanjenja interferencije sa drugim uređajima što izravno utječe na domet signala WLAN-a. WiMAX koristi nelicencirane frekvencijske opsege i licencirane frekvencijske opsege što za posljedicu ima veći stupanj slobode pri korištenju WiMAX-a u telekomunikacijskoj infrastrukturi. WiMAX i WLAN koriste se za prijenos podataka. Rezultatom komparacije utvrđeno je da se WLAN koristi za primjene kratkog dometa, oko 30 m te je ograničen na unutarnju uporabu u zgradama, kućama, kafićima, dok je WiMAX namijenjen za veće udaljenosti (oko 50 km). WLAN ovisno o standardu može ostvariti veću brzinu od WiMAX-a, no WiMAX pruža puno bolju metodu distribucije podataka u odnosu na WLAN. Važno je ne poistovjećivati WiMAX i Wi-Fi koji je zamišljen kao bežični način povezivanja malih lokalnih mreža (WLAN) na maloj udaljenosti. WiMAX se trenutno najčešće koristi kao bežični produžetak interneta tj. novi davatelji internet usluga koji nemaju razvijenu žičanu infrastrukturu najčešće koriste WiMAX tehnologiju. Trenutno u 2016. godini jedini WiMAX koncesionar u Hrvatskoj je tvrtka „Novi-Net d.o.o.“ koja pruža svoje usluge na području grada Čakovca. Mnoge druge tvrtke su nudile svoje usluge ali su s vremenom ugašene ili su odustale od WiMAX tehnologije. Prednosti WiMAX-a su velike u odnosu na nedostatke te bi daljnjim razvojem mogao zasjeniti postojeću DSL tehnologiju i bežičnu LTE tehnologiju.

Potpis studenta  
*Nikola Martinović*

## Literatura

### Knjige:

1. Anderson H.(2003.), Fixed broadband wireless system design, John Wiley & Sons, England
2. Bosilj Vukšić V.(2012.), Poslovna informatika, 2. izmijenjeno izdanje, Zagreb
3. Haris Hamidović: WLAN - bežične lokalne računalne mreže : priručnik za brzi početak, Info press, Zagreb
4. Makaya C., Pierre S.(2012.), Emerging wireless networks, Taylor & Francis Group, USA
5. Miloš I. (2011.), Tehnologija i organizacija intermodalnog prometa, Veleučilište u rijeci
6. Rao K.R., Bojković Z., Milovanović D.(2009.), Wireless multimedia communications, Taylor & Francis Group, USA
7. Teković A.(2010.), Bežične računalne mreže, Algebra, Zagreb
8. Wong K.D.(2012.), Fundamentals of wireless communication engineering technologies, John Wiley & Sons Inc., New Jersey

### Internetski izvori:

9. <http://www.am.unze.ba/osm/2011/seminarski/Coric%20Benina.ppt> (20.2.2016.)
10. <http://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-08-023.pdf> (20.2.2016.)
11. <http://boo.mi2.hr/~marcell/www.slobodastvaralastvu.net/www.slobodastvaralastvu.net/TehnoLogije/WiFi750f.html?op=comment> (20.2.2016.)
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_LAN](https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN) (20.2.2016.)
13. [http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br\\_2\\_2003/wlan.htm](http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/wlan.htm) (20.2.2016.)
14. <https://bib.irb.hr/datoteka/195261.Diplomski.pdf> (5.3.2016.)
15. <https://hrcak.srce.hr/file/127936> (5.3.2016.)
16. [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax\\_tehnologija.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf) (9.4.2016.)
17. <http://www.sk.rs/2009/03/skpr01.html> (5.3.2016.)
18. <http://onlinetrziste.com/2010/09/sta-je-wimax-i-kako-on-ustvari-radi/> (16.4.2016.)
19. [http://www.tutorialspoint.com/wimax/what\\_is\\_wimax.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/what_is_wimax.htm) (23.4.2016.)
20. [http://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/IEEE\\_802.16x\\_-STANDARDI\\_ZA\\_WiMAX\\_MREZE\\_Ivana\\_Behin.pdf](http://nastava.tvz.hr/kirt/wp-content/uploads/sites/4/2013/09/IEEE_802.16x_-STANDARDI_ZA_WiMAX_MREZE_Ivana_Behin.pdf) (21.4.2016.)
21. <http://www.poslovnih.hr/tehnologija/mobilni-wimax-i-sluzbeno-postao-standard-862> (6.3.2016.)
22. <http://www.cs.tut.fi/kurssit/TLT-6556/Slides/3-802.16e.pdf> (5.3.2016.)



23. <http://www.rfwireless-world.com/Articles/80216m.html> (5.3.2016)
24. [http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax\\_forum.htm](http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_forum.htm) (16.4.2016.)
25. <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/ieee-802-16-standards.php>  
(15.4.2016.)
26. <http://www.techworld.com/big-data/what-is-li-fi-everything-you-need-know-3632764>  
(15.4.2016.)
27. <https://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX> (20.4.2016.)
28. <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/ieee-802-16-standards.php>  
(8.3.2016.)
29. <http://www.techworld.com/big-data/what-is-li-fi-everything-you-need-know-36327>  
(8.3.2016.)
30. <https://www.cwnp.com/about> (07.05.2016.)
31. [http://www.chinaseniorsupplier.com/Lights\\_Lighting/Other\\_Lights\\_Lighting\\_Products/162612130/smart\\_G4\\_DALI\\_Bridge\\_Module.html](http://www.chinaseniorsupplier.com/Lights_Lighting/Other_Lights_Lighting_Products/162612130/smart_G4_DALI_Bridge_Module.html) (15.5.2016.)
32. [https://radovi2014.cuc.carnet.hr/modules/request.php?module=oc\\_proceedings&action=view.php&a=Accept&id=76&type=2](https://radovi2014.cuc.carnet.hr/modules/request.php?module=oc_proceedings&action=view.php&a=Accept&id=76&type=2) (15.5.2016.)
33. ([https://hr-wikipedia.org/wiki/Internet\\_stvari](https://hr-wikipedia.org/wiki/Internet_stvari)) (20.5.2016.)
34. (<http://extremewifi.hr/cesta-pitanja/>) (25.5.2016)

Popis kratica:

3G (engl. third generation) - treća generacija

BER (engl. Bit Error Rate) - najniži odnos greške

CCK (engl. Complementary Code Keying) - shema kodiranja koja se koristi za bežične mreže (WLAN-ove) koji rade na IEEE 802.11b standardu

DSL (engl. Digital Subscriber Loop) - digitalna pretplatnička petlja

DSSS (engl. Direct Sequence Spread Spectrum) - raspršenje spektra direktnim postupkom

ETSI (engl. European Telecommunication Standard Institute) - Institut za europske telekomunikacijske standarde

FCC (engl. Federal Communication Commission) – Vladina komunikacijska komisija

FHSS (engl. Frequency Hopping Spread Spectrum) - frekvencijsko raspršenje spektra

Gbps (engl. Gigabits Per Second) – gigabita u sekundi

GHz - gigaherc

IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers) - Udruženje inženjera elektrotehnike

IR (engl. Infrared) - infracrvena tehnologija

ISM (eng. Industrial, Scientific and Medical) - industrijski, znanstveni, medicinski frekvencijski pojas

ITU (eng. International Telecommunication Union) - Međunarodna telekomunikacijska unija

IoT (engl. Internet of Things) – Internet stvari

KHz - kiloherc

LAN (engl. Local Area Network) - lokalna računalna mreža

LOS (engl. Line of Sight)

MAC (engl. Media Access Control)

Mbps (Megabits Per Second) - megabita u sekundi

MHz – megaherc

MIMO (engl. Multiple Input – Multiple Output) - bežična tehnologija koja koristi više odašiljača i prijarnika za prijenos više podataka u isto vrijeme

NLOS (engl. No Line of Sight)

OFDM (engl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) - ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje

SS (engl. Subscriber Station) - pretplatnička postaja

SSID (engl. Service Set Identifier)

TIM (engl. Traffic Indication Map) - mapa pokazatelja prometa

UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunications System) - univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav

WAN (engl. Wide Area Network) - mreža širokog područja

Wi-Fi (engl. Wireless Fidelity) - bežični internet

WiMAX (engl. Worldwide Interoperability for Microwave Access) - Svjetska interoperabilnost za mikrovalni pristup

WLAN (engl. Wireless Local Area Network) - bežična lokalna mreža

Popis Slika:

Slika 1: Frekvencijski pojas i podjela kanala

Slika 2: Pasivno skeniranje

Slika 3: Aktivno skeniranje

Slika 4: Osnovni servis set

Slika 5: Prošireni servis set

Slika 6: Nezavisni osnovni servis set

Slika 7: Podjela frekvencijskog pojasa za 802.11

Slika 8: Brzine definirane za 802.11b

Slika 9: Definirane brzine za 802.11a

Slika 10: Definirane brzine prijenosa za 802.11g

Slika 11: WiFi logo

Slika 12: CWNP logo

Slika 13: Mobilni WiMAX

Slika 14: Opća arhitektura WiMAX-a

Slika 15: Logo WiMAX Forum-a

Slika 16: Pokrivanje WiMAX-a

Slika 17: Povezivanje uređaja u pametnom domu

Slika 18: Temeljna organizacijsko - funkcionalna struktura sustava PROMETHEUS

Popis tablica:

Tablica 1: Osnove značajke važnijih 802.11 standarda

Tablica 2: Komparacija Wi-Fi i WiMAX-a po frekvencijama

Tablica 3: Komparacija pokrivenosti Wi-Fi i WiMAX-a