

# UNAPREĐENJA 4G U ODNOSU NA 3G MREŽE

---

**Barić, Stipe**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:967563>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Preddiplomski stručni studij Elektronike

**STIPE BARIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**Unapređenja 4G u odnosu na 3G mreže**

Split, rujan 2021.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Preddiplomski stručni studij Elektronika

**Predmet:** Mobilne komunikacije

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Stipe Barić

**Naslov rada:** Unapređenja 4G u odnosu na 3G mreže

**Mentor:** dr. sc. Winton Afrić

Split, rujan 2021.

## SADRŽAJ

Sažetak.....	1
Summary.....	1
1. Uvod .....	2
2. POVIJEST RAZVOJA MOBILNIH KOMUNIKACIJA .....	3
2.1 1G tehnologija.....	3
2.2 2G tehnologija.....	4
2.3 3G tehnologija.....	6
2.3.1 Arhitektura 3G UMTS mreže.....	8
2.3.2 3G UMTS jezgra mreže .....	9
2.4 4G tehnologija.....	11
2.5 5G tehnologija.....	12
3. ARHITEKTURA 4G MREŽE .....	13
3.1 WiMAX sustav .....	14
3.2 LTE Sustav .....	20
4. UNAPREĐENJA 4G U ODNOSU NA 3G MREŽE.....	24
5. USPOREDBA 5G I 4G MREŽA .....	26
6. ZAKLJUČAK.....	28
LITERATURA.....	29
POPIS SLIKA .....	30

## **Sažetak**

### **Unapređenja 4G u odnosu na 3G mreže**

Cilj ovog rada je opisati unapređenja 4G mobilnih komunikacijskih mreža u odnosu na 3G mreže. Veliki napredak u povezivanju korisnika te sve više rastućim brojem dostupnih mobilnih uređaja uvjetovana je evolucija te napredovanje komunikacijskih tehnologija i generacija. Počevši od 1G tehnologije pa sve do današnje 5G tehnologije, istim korakom je napredovala arhitektura, povezanost te prijenosne brzine i pokrivenost. Današnji život je nezamisliv bez mobilnih tehnologija. Upravo zato je potrebno znati njihovu povijest kako bi znali što očekivati od budućnosti razvoja komunikacijskih mreža.

**Ključne riječi:** 1G, 3G, 4G, 5G, arhitektura, prijenosne brzine, pokrivenost, povezanost

## **Summary**

### **Improvements of 4G compared to 3G networks**

The aim of this paper is to describe the improvements of 4G mobile communication networks compared to 3G networks. Great progress in connecting users and the increasing number of mobile devices available is conditioned by evolution and advancement of communication technologies and generations. Starting from the 1G technology all the way to today's 5G technology, the architecture, connectivity, transmission speeds and coverage have all advanced exponentially. Today's life would be unimaginable without mobile technologies and that's the exact reason why we should know the history and to know what to expect from the future of the development of communication networks.

**Keywords:** 1G, 3G, 4G, 5G, architecture, transmission speeds, coverage, connectivity

## 1. Uvod

Mobilni telekomunikacijski sustavi zadovoljavaju naše osnovne potrebe, informacijsku tehnologiju te mogućnost povezivanja i komuniciranja što je temeljni dio funkcioniranja našeg društva. Iz perspektive sigurnosti, telekomunikacije su jedne od najvažnijih infrastruktura za sigurnost, širok spektar institucija ovisi o njima da pružaju zaštitu.

Porastom broja korisnika, povećale su se potrebe za unapređivanjem mobilnih mreža te njihovoj funkcionalnosti. Mobilnu tehnologiju karakteriziraju uređaji s omogućenim internetom, poput pametnih telefona, tableta i satova. Najnoviji napredak uključuje dvosmjerne pejdžere, prijenosna računala, mobilne telefone (preklopne telefone), GPS-navigacijske uređaje i još mnogo toga. Mobilna tehnologija započela je kao izvanredno postignuće u svijetu tehnologije, ali se sada zbog svoje raznolike funkcionalnosti pretvara u tehnologiju udobnosti korisnika. Kada je mobilni telefon tek predstavljen, koristio se u osnovi za SMS, pozive i igre. No, postepeno se pretvorio u digitalni svijet i uvelike olakšao život i poslovanje; trgovci sada imaju mogućnost prodaje svojih proizvoda s lakoćom putem tehnologije mobitela. Najznačajnija i najveća promjena je između treće generacije (3G) i četvrte generacije (4G) mobilne mreže.

## 2. POVIJEST RAZVOJA MOBILNIH KOMUNIKACIJA

### 2.1 1G tehnologija

Pokrenuta od strane Nippon Telegraph and Telephone 1979. godine, 1G je prvi put predstavljen građanima Tokija. Do 1984. godine, 1G mreža je pokrivala cijeli Japan, što ga čini prvom zemljom koja je imala 1G uslugu širom zemlje. Tek 6. Ožujka 1983. godine je Ameritech uveo 1G u Sjedinjene Američke Države.

Iako je prototip mobitela napravljen 1973. godine (10 godina prije sjevernoameričkog lansiranja 1G), Motorola je javnosti 1983. godine predstavila prvi komercijalno dostupan mobitel – DynaTAC (Slika 1.1.). Samo u prvoj godini Ameritech je prodao otprilike 1200 Motorola DynaTAC mobilnih telefona. Do 1998. godine mobiteli i slične usluge činili su do dvije trećine prihoda Motorole.



Slika 1.1. Mobilni telefon Motorola DynaTAC 8000x

Kao metoda pristupa prijenosnom mediju upotrebljava se *višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom*, FDMA (Frequency-Division Multiple Access). U ćelijskim sustavima prve generacije se primjenjuju dva modulacijska postupka:

- Analogna frekvencijska modulacija (FM) za prijenos govornih signala
- Digitalna frekvencijska modulacija (FSK) za prijenos signalizacijskih poruka.

Tri su standarda dominirala prvom generacijom:

- *Poboljšani mobilni telefonski sustav*, AMPS (Advanced Mobile Phone System)
- *komunikacijski sustav potpunog pristupa*, TACS (Total Access Communications System)
- *nordijski mobilni telefonski sustav*, NMT (Nordic Mobile Telephone system)

Prva generacija mobilnih mreža se zasnivala na analognom načinu rada te je imala mogućnost obrade govornog prometa. Opisuje je česti prekidi te loša kvaliteta zvuka u prijenosu. Nije bilo podrške u roamingu između različitih operatera i kako različiti sustavi rade na različitim frekvencijskim opsezima, nije bilo kompatibilnosti između sustava. Naime, kako razgovori nisu bili šifrirani, postojala je mogućnost preslušavanja pomoću radio skenera. Zahvaljujući prednostima digitalnih sustava te učinkovitijeg iskorištavanja frekvencijskog spektra zamijenjena je sa 2G.

## **2.2 2G tehnologija**

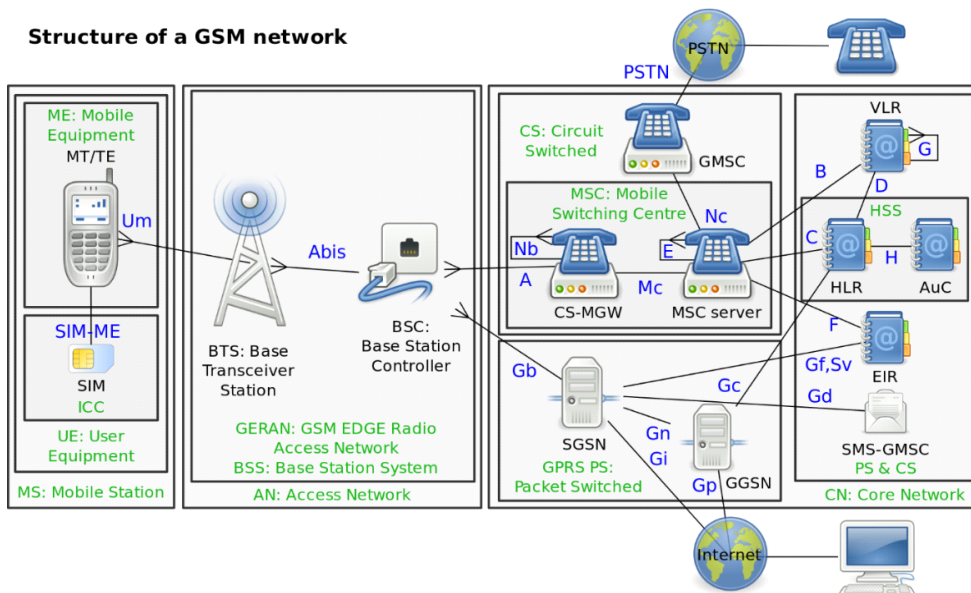
Tehnologije višestrukog pristupa TDMA (eng. Time Division Multiple Access) i CDMA (Code Division Multiple Access) omogućile su:

- Digitalnu enkripciju razgovora između mobilnih uređaja i bazne stanice
- Poboljšano korištenje frekvencijskog spektra što dovodi do povećanja broja korisnika
- Uvođenje podatkovnih usluga (SMS, MMS)

Pomoću GPRS standarda, 2G mreže su nudile maksimalnu brzinu prijenosa od 40kbit/s. Najpoznatija 2G tehnologija je bila TDMA-GSM. 2G se još uvelike koristi u svijetu zbog opcije alternativne komunikacije, većinom u ruralnim područjima.

GSM standard, razvijen od strane ETSI (eng. European Telecommunications Standards Institute), opisuje protokole za 2G digitalne mobilne mreže koje koriste mobilni uređaji i tableti. GSM izvorno opisuje digitalnu mrežu s komutacijom kanala (eng. Circuit-switching) optimiziranu za full-duplex telefoniju. To se s vremenom proširilo na podatkovnu komunikaciju, prvo komutacijom kanala, pa onda komutacijom paketa pomoću GPRS (eng. General Packet Radio Service) i EDGE (eng. Enhanced Data Rates for GSM Evolution).



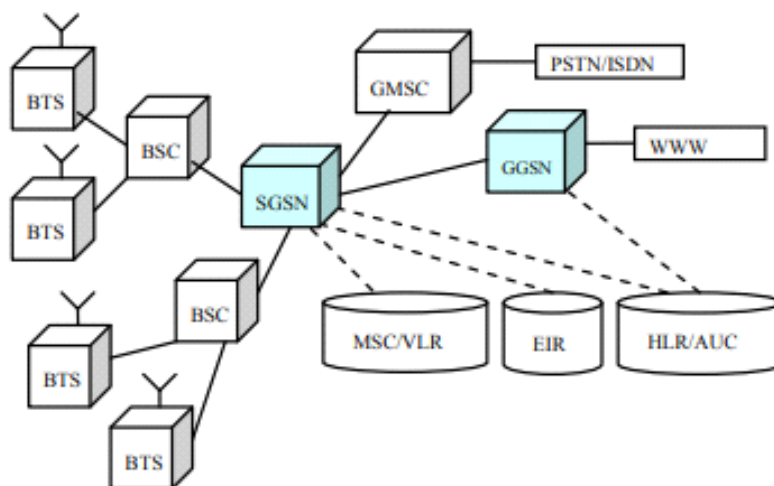


Slika 2.2. Arhitektura GSM mreže

GSM mreža se sastoji od 4 glavna dijela:

- Base Station Subsystem (BSS) – sadržava baznu stanicu i kontrolere
- Network Subsystem (NSS) – mreža koja sadrži sve čvorove i funkcionalnosti potrebne za komutaciju poziva, upravljanje pretplatnicima i mobilnosti
- GPRS Core Network – omogućuje prijenos paketa na Internet
- Operations Support System (OSS) – servis i održavanje mreže

GPRS predstavlja 2,5G generaciju i razlikuje se od GSM konfiguracije zbog dva dodana mrežna elementa: SGSN (eng. Serving GPRS Support Node) i GGSN (eng. Gateway GPRS Support Node).



Slika 2.3 Arhitektura GPRS mreže

SGSN izvršava sigurnosne funkcije, upravljanje i kontrolu kretanja mobilnih korisnika unutar pristupne mreže. GGSN se koristi za komunikaciju s vanjskim paketnim mrežama i ima sličnu ulogu kontrole prijenosa podataka kao i GMSC (eng. Gateway MSC) u GSM sustavu. EDGE predstavlja 2,75G generaciju koji omogućuje unutar 2G frekvencijskog područja primjenu IP (eng. Internet Protocol) multimedijalnih usluga i aplikacija s teorijskom brzinom 470 kbit/s.

### 2.3 3G tehnologija

Krajem 20. stoljeća dolazi do povećanja potražnje za mobilnim internetom. Iznenadjući uspjeh 2G mreže je doveo želju za bržim i efikasnijim prijenosom mobilnih podataka.

Osim brzog prijenosa podataka, 3G je uveo bolji pristup multimediji, brzi internet te roaming opciju. Razvoj 3G mreže je zahtijevao zajednički trud telekomunikacijskih tvrtki i dogovor oko standarda što bi omogućilo pristupačnost većem broju ljudi. 3G je razvijen prateći uzorak IMT-2000 koji je omogućio ITU (eng. International Telecommunications Union) ranih godina 20. stoljeća. Cilj IMT-2000 (eng. International Mobile Telecommunications 2000) je pružiti univerzalnu pokrivenost i ostvariti bolji roaming preko nekoliko mreža. Također je pružio brzine prijenosa do 394 kb/s za mobilne stanice te 2 mb/s za fiksne stanice.

IMT-2000 se sastoji od nekoliko standarda koji opisuju 3G:

- CDMA2000 – nadogradnja postojećem CDMA, mobilni sustav koji se koristi u Sjevernoj Americi i nekim dijelovima Azije
- W-CDMA – nadogradnja GSM mreža kao alternativa CDMA2000 za sustave koji se koriste u Europi i Japanu
- UMTS (eng. Universal Mobile Telecommunications Systems) – U početku predložen od strane ETSI i standardiziran od 3GPP (eng. 3rd Generation Partnership Project). Postao je standard za 3G bežične mreže u Europi i dijelovima Azije (Kina i Japan). Najnovija verzija UMTS-a, HSPA+ (eng. Evolved High Speed Packet Access) omogućuje veće brzine prijenosa podataka
- UWC-136 (eng. Universal Wireless Communications) – 3G standard bežičnih mreža ponuđen od strane TIA (eng. Telecommunications Industry Association).

ITU je 1992. godine utvrdio frekvencijske pojaseve 1885-2025 MHz i 2110-2200 MHz za IMT-2000. Mreže IMT-2000 radit će u sljedećim pojasevima:

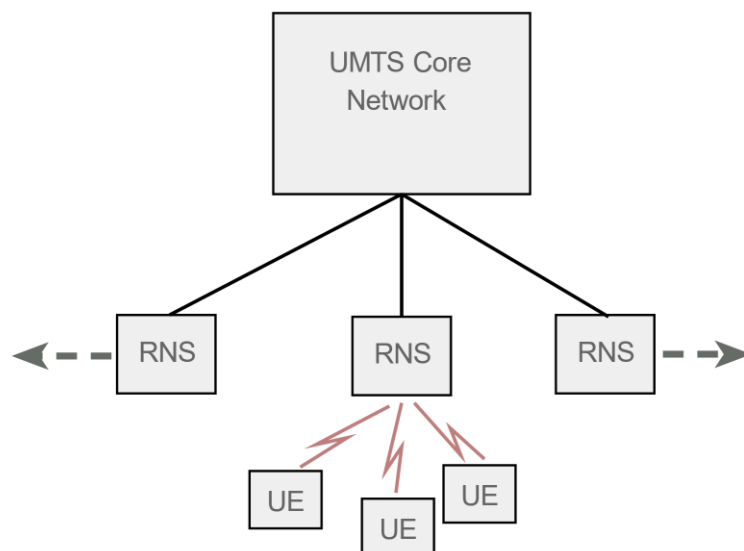
- 1920 - 1980 MHz uparen s 2110 - 2170 MHz, FDD s mobilnim stanicama koje odašilju u donjem pod-pojasu.
- 1885 - 1920 MHz i 2010 - 2025 MHz, neuparene za TDD rad.

U Europi TDD pojas od 1885 -1900 MHz nije dostupan za licenciranu upotrebu IMT-2000 jer ga koristi bežična telefonija (DECT). Osim tog osnovnog pojasa, frekvencijski pojas od 2500 - 2690 MHz identificiran je 2000. godine, od čega su rubovi, u rasponu od 2500 - 2520 i 2670 - 2690 MHz, isprva identificirani za satelitske komunikacije. Za IMT-2000 dugoročno su identificirani i postojeći pojasevi druge generacije (uključujući GSM pojaseve) od 806 - 960 MHz, od 1429 - 1501 MHz i od 1710 - 1885 MHz.

### 2.3.1 Arhitektura 3G UMTS mreže

UMTS mreža se može podijeliti u 3 glavna dijela:

- UE (eng. User Equipment) – korisnička oprema (najčešće mobilni telefon), naziv je izabran zbog njegove velike funkcionalnosti. Može biti bilo što između mobilnog telefona do podatkovnog terminala koji nema mogućnosti govorne sposobnosti
- RNS (eng. Radio Network Subsystem) – poznat kao UTRAN (eng. UMTS Radio Access Network). Sastoji se od baznih stanica i radio-kontrolera koji premošćuje podatke između mobilne stanice i jezgre mreže.
- Jezgra mreže – Omogućuje centralno procesiranje i kontrolu sustava slično kao i NSS u GSM mreži.



Slika 2.3.1.1 Glavni blokovi UMTS mreže

Korisnička oprema, UE

Jedan od najbitnijih elemenata u cijeloj 3G UMTS arhitekturi, UE formira glavno sučelje s korisnikom. Sastoji se od nekoliko elemenata koji se mogu opisati zasebno:

- UE RF sklop – radio frekvencijska područja kontroliraju sve elemente signala za prijammnik i predajnik. Jedan od velikih problema za RF pojačalo je bio smanjenje

potrošnje. Oblik modulacije W-CDMA je zahtijevao korištenje linearnog pojačala. Uvedene su mjere kako bi se osigurala optimalna potrošnja baterije.

- Pojasni procesor – uređaj koji upravlja svim radio funkcijama (funkcije koje zahtijevaju antenu).
- Baterija – kako je trenutna potrošnja minimizirana koliko je moguće u sklopovlju mobilnog telefona, dolazi do povećanja potrošnje na bateriji. Korisnici očekuju isti život baterije kao u prethodnim generacijama mobilnih telefona što je zahtijevalo novu i unaprjeđenu tehnologiju baterija. Sada se najviše koriste Litij-Ionske baterije. Ovako mobilni telefoni ostaju manji i relativno lagani te imaju čak i poboljšani životni vijek između punjenja.
- USIM (eng. Universal Subscriber Identity Module) – napredna verzija SIM kartice koja se koristi u GSM sustavima. Sadrži IMSI (eng. International Mobile Subscriber Identity) broj kao i MSISDN (eng. Mobile Station International ISDN) broj. Ostale informacije koje USIM sadrži su preferirani jezik na kojem se prikazuju informacije u roamingu i lista preferiranih i zabranjenih PLMN (eng. Public Land Mobile Networks) mreža. USIM također sadrži i imenik korisnika te informaciju o odlaznim i dolaznim pozivima.

### **2.3.2 3G UMTS jezgra mreže**

Može se podijeliti u 2 područja:

- Sklop s komutiranom domenom – koristi komutiranu mrežu u kojoj je namjenska veza ili kanal određen za vremenski period za skup korisnika.

Dijeli se na dva bloka:

- MSC (eng. Mobile Switching Center) – upravlja pozivima s komutacijom
- GMSC – Gateway koji djeluje kao posrednik između vanjskih i unutarnjih mreža
- Domena s komutacijom paketa – koristi IP mrežu gdje su IP-ovi odgovorni za prijenos i primanje podataka između dva ili više uređaja.

Dijeli se na dva bloka:

- SGSN – upravljanje mobilnošću, upravljanje sesijama, fakturiranje, komunikacija s drugim područjima mreže
- GGSN – vrlo složeni usmjerivač koji kontrolira operacije između vanjskih paketnih komutiranih mreža i UMTS paketno komutirane mreže

U Lipnju 2001. , Japanska tvrtka NTT DoCoMo je započela testnu 3G uslugu. Sljedećeg listopada, Pokrenuli su prvu komercijalnu 3G uslugu koja je radila na W-CDMA mreži i rebrandirana kao FOMA (eng. Freedom of Mobile Multimedia Access). Manx Telecom iz Velike Britanije su prvi u Europi pokrenuli 3G uslugu koristeći UMTS tehnologiju. U Sjedinjenim Američkim Državama tvrtka Monet Mobile Networks je prva pokrenula komercijalnu 3G uslugu koristeći CDMA 1xEV-DO tehnologiju. Uskoro nakon je Verizon Wireless napravio isti korak, koristeći istu tehnologiju.

3G je bio veliki skok od prethodne 2G mreže:

- Veće brzine do 2 Mb/s (Koristeći W-CDMA ili CDMA2000) i 28 Mb/s (Koristeći HSPA+), omogućujući brže slanje i primanje datoteka
- Poboľjšana privatnost i sigurnost
- Pruža usluge kao mobilni TV, mobilne igrice, video streaming i konferencije
- Brzi internet i WAP (Wireless Application Protocol) surfanje

3G je revolucionirao komunikaciju i korištenje Interneta. ZasluŹan je za pametne telefone te usluge kao Facebook, Twitter, Instagram i ostale. 3G mreŹe se i dalje široko koriste, mnogi teleoperateri još pruŹaju 3G usluge.

## 2.4 4G tehnologija

Početak 2000-ih, bilo je nekoliko razgovora i prijedloga za 4G. Tada je došlo do zajedničke odluke da bi sljedeća generacija trebala biti više „evolucija“ umjesto revolucije kao u slučaju prethodnih mobilnih mreža. Zato je 4G zapravo bazirana na prethodnoj 3G mreži, odnosno poboljšana sa novom tehnologijom zvanom *Long Term Evolution* (LTE). Razvoj 4G-a započeo je 2004. godine kada su telekomunikacijske tvrtke počele razvijati „Release 8“, prvu tehničku specifikaciju LTE-a. Tada je 3GPP, isti entitet koji je razvio W-CDMA modulaciju za 3G mreže, izdao Release 8 za LTE.

2006. godine Švedska telekomunikacijska tvrtka Telia Sonera pušta 4G u komercijalne potrebe, podržavajući uređaje od Ericsson-a i Huawei-a. Brzine prijenosa podataka su bile oko 100 Mb/s, skoro deset puta brže od brzina koje je pružio 3G. ITU-R (engl. ITU Radiocommunication Sector) je specificirao da „prava“ 4G mreža treba imati brzine do 1 Gb/s. 2009. godine 3GPP razvija naprednije verzije LTE-a u obliku LTE-Advanced. Do trenutka izdavanja LTE-Advanced, maksimalna brzina prijenosa podataka je bila 300 Mb/s što je zahtijevalo više izvora na radio kanalima kako bi se dostigla brzina od 1Gb/s što je specificirao ITU-R. Iako se LTE smatra naprednijim od 4G, njegova ažuriranja nisu dovoljno značajna da se smatra kao novom i različitom generacijom.

## 2.5 5G tehnologija

5G omogućuje novu vrstu mreže koja je dizajnirana za povezivanje gotovo svih i svega zajedno, uključujući strojeve, objekte i uređaje. Bežična tehnologija 5G namijenjena je pružanju većih podatkovnih brzina s više Gb/s, veće pouzdanosti, velikog mrežnog kapaciteta, povećane dostupnosti i ujednačenijeg korisničkog iskustva za više korisnika. Veće performanse i poboljšana učinkovitost osnažuju nova korisnička iskustva i povezuju nove industrije. Koristeći puno veće radio frekvencije, 5G omogućuje nižu latenciju (vrijeme prije početka prijenosa podataka). S novim zračnim sučeljem, 5G omogućuje uporabu puno više uređaja na istoj geografskoj lokaciji; 4G podržava oko 4000 uređaja po kvadratnom kilometru dok 5G podržava oko 1 000 000 uređaja.

Ipak, najveća razlika je u tome što se 5G koristi kao „ulaz“ na Internet-of-Things. Očekuje se da će kasnije verzije 5G umrežavanja biti revolucionarne za industrije zasnovane na podacima, pametnim gradovima te infrastrukturom upravljanja jer će biti moguće omogućiti više uređaja koji sigurno i pouzdano rade na istom području bez prekida. Zbog novih tehnologija, spektra i frekvencija koje koristi, 5G ima nekoliko prednosti u odnosu na 4G; veće brzine, manje kašnjenje, kapacitet za veći broj spojenih uređaja, manje smetnji i bolja učinkovitost.



### 3. ARHITEKTURA 4G MREŽE

Četvrta generacija telekomunikacijskih tehnologija se razvila zbog velike potražnje za boljim performansama, povećanja efikasnosti korištenja frekvencijskih opsega za veći broj korisnika te u svrhu smanjenja troškova održavanja opreme. 4G usluga postavljena je tako da nudi brzo i sigurno all-IP, roaming mobilno širokopojasno rješenje za uređaje poput prijenosnih računala s bežičnim 4G modemima, 4G pametnim telefonima i drugih 4G mobilnih uređaja koji zahtijevaju pristup internetu, a dostupni su i sadržaji s velikom brzinom, uključujući HD televiziju na zahtjev, IP telefoniju, igre na zahtjev te, naravno, brzi pristup internetu.

Upotreba 4G usluge je u principu vrlo slična 3G usluzi, omogućujući puno veće prijenosne brzine te na taj način pruža neometani promet većeg broja korisnika. Usluge koje 4G nudi su:

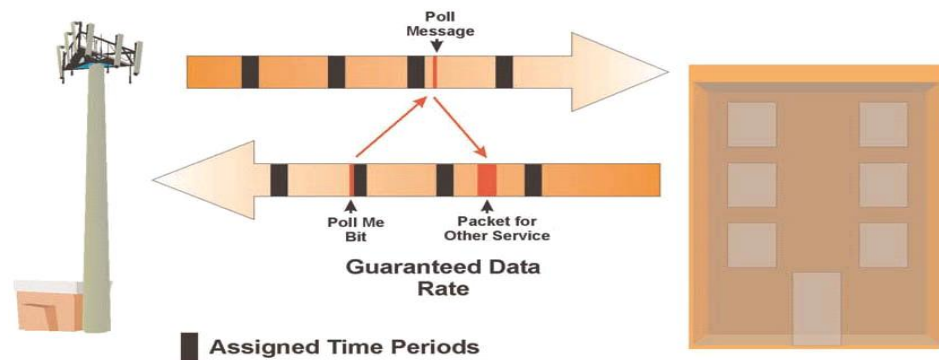
- Brzi pristup internetu
- Interaktivne korisničke usluge s intenzivnim prijenosom podataka (GPS)
- Video konferencije
- Lokacijsko-orijentirane usluge (Vremenska prognoza, uvjeti u prometu)
- HDTV (engl. High Definition Television)
- IP telefonija
- Visoka propusnost mrežnog prometa

4G Tehnologiju karakteriziraju dva sustava, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) i LTE (Long Term Evolution) sustav.

### 3.1 WiMAX sustav

WiMAX je naziv za obitelj standarda i protokola IEEE 802.16. Dizajniran je za pružanje visokokvalitetnih multimedia usluga krajnjim korisnicima. IEEE 802.16 je standard koji se može podijeliti na fiksni model IEEE 802.16-2004 i mobilni model IEEE 802.16e. WiMAX je prvenstveno nudio brzine do 40 Mb/s po bežičnom kanalu za mobilne i fiksne upotrebe ovisno o tehničkoj konfiguraciji koja se koristi. Podržava zvučne i video podatke te Internet podatke. Može se integrirati u mrežu treće generacije te u žičane mreže kako bi postao rješenje za širokopojasni pristup bilo kada i bilo gdje. Sustav IEEE 802.16 orijentiran je na povezivanje i pruža "Quality of Service" (QoS) kroz protokole usluga i usluge zakazivanja. Stoga se svi zadaci temelje na vezi, jedinstveno identificiranoj 16-bitnim identifikatorom veze (CID), a nijedan paket ne smije prolaziti bežičnom mrežom bez dodjele specifične veze. veza je po definiciji mapiranje između bazne stanice (BS) i mobilne stanice (MS) za prijenos prometa. Kako bi zadovoljili QoS potrebno je definirati četiri usluge:

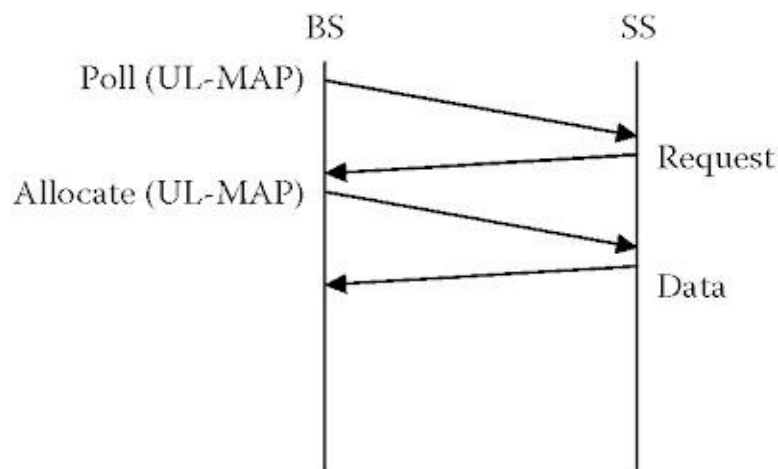
- UGS (engl. Unsolicited Grant Service) - usluga u kojem prijenosni sustav automatski i povremeno osigurava definirani broj vremenskih odsječaka i fiksnu duljinu paketa koje koristi određeni primatelj. Pruža uslugama, koje zahtijevaju konstantnu brzinu prijenosa (CBR), kao npr. audio-streaming emulacijski krug.



Slika 3.1.1 Bežični UGS sustav

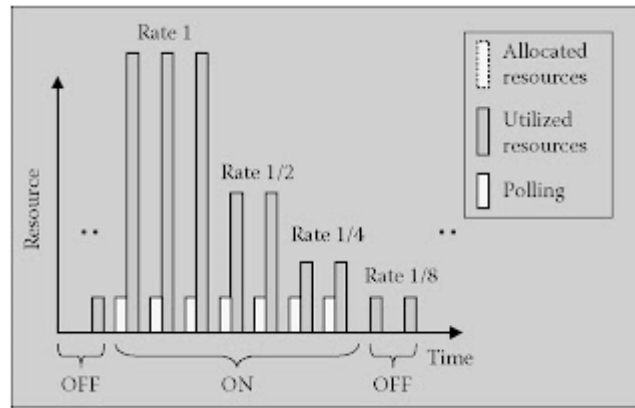
Slika 3.1.1. opisuje način rada UGS-a. Korisnička stanica prima i šalje podatke tijekom zadanog dodjeljenog vremenskog intervala, također može koristiti bit u zaglavlju kako bi naznačila da želi poslati podatke za neku drugu uslugu. Kada bazna stanica zaprimi taj bit, šalje poruku koja omogućuje korisničkoj stanici da pošalje paket koji je neovisan o UGS paketima.

- rtPS (engl. real-time Polling Service) - algoritam koji pruža podršku protoka usluga u stvarnom vremenu, poput MPEG videa ili tele-konferencije, koji povremeno generiraju pakete podataka promjenjive veličine.



Slika 3.1.2. Dinamički proces rada rtPS

Prikazano na Slici 3.1.2., BS dodjeljuje UL potrebne resurse za jednosmjernu propusnost korisnicima. Vrijeme u kojem BS komunicira sa SS u rtPS vezi je dogovoreno u inicijalizacijskom procesu veze. SS koristi dodijeljene resurse kako bi poslao zahtjev za širinom pojasa u kojem se sadržava točna količina propusnosti potrebna za uspostavu rtPS veze. Kao odgovor, BS dodjeljuje točnu traženu širinu pojasa SS-u za prijenos podataka.



Slika 3.1.3 Dodjeljivanje resursa pomoću rtPS algoritma

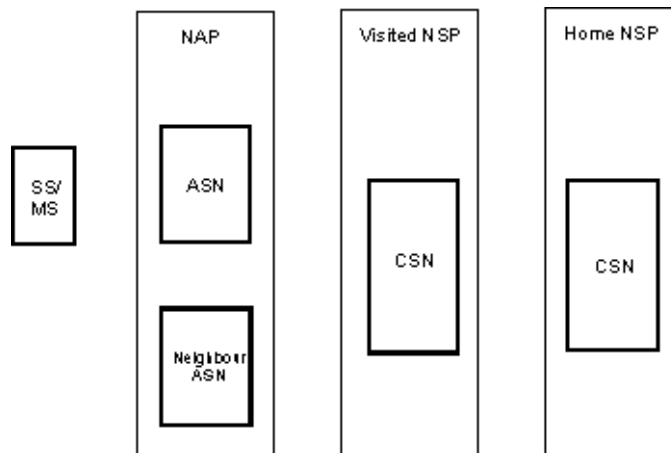
Algoritam je u stanju dinamički pratiti svu brzinu prijenosa glasovnog kodeka bez gubitka resursa (Prikazano na Slici 3.1.3.).

- ertPS (eng. extended real-time Polling Service) - dizajniran za usluge u stvarnom vremenu koje povremeno generiraju pakete podataka promjenjive veličine, poput VoIP-a sa potiskivanjem tišine. Mehanizam se bazira na UGS-u i rtPS-u. Umjesto fiksne dodjele koju pruža UGS, ertPS osigurava dinamičku dodjelu resursa.
- nrtPS (engl. non-real-time Polling Service) - dizajniran za usluge koje nisu u stvarnom vremenu i koji zahtijevaju dopuštenja za podatke promjenjive veličine na redovnoj (ali ne strogo povremenoj) osnovi, poput FTP (engl. File Transfer Protocol) protokola.
- BE (engl. Best Effort) - dizajniran za promet u kojemu nema jamstva kašnjenja i propusnosti. Korisnička stanica šalje zahtjeve za propusnost za slučajni pristup ili u namjenskim mogućnostima prijenosa.

WiMAX mrežna arhitektura definira sustav nakon zračnog sučelja koji omogućuje „end to end“ mrežu. Omogućuje podršku fiksnim, nomadskim i mobilnim operacijama te se bazira na IP modelu.

WiMAX mrežna arhitektura se može podijeliti u 3 područja:

- Mobilne stanice – korisnička oprema koja može biti fiksna ili mobilna
- ASN (engl. Access Service Network) – područje WiMAX mreže koje formira prijestupnu radijsku mrežu te se sastoji od jedne ili više baznih stanica i jednog ili više ASN gateway-a
- CSN (engl. Connectivity Service Network) – pruža IP povezivost i sve glavne mrežne IP funkcije



Slika 3.1.4 Referentni model WiMax arhitekture

WiMAX mreža sastoji se od elemenata koji čine prethodno opisana područja:

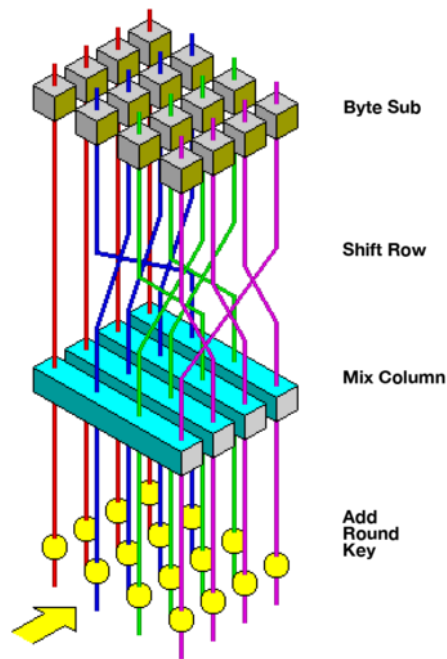
- SS / MS - predstavlja korisničku stanicu koja može biti unutarnja i vanjska te fiksna i mobilna. Vanjska stanica ima prednost u tome što pruža bolje performanse zbog idealne pozicije antene dok unutarnju stanicu instalira korisnik.
- BS (engl. Base Station) - predstavlja baznu stanicu koja je osnovni element WiMAX mreže. Zaslužna je za zračno sučelje pretplatnicima i mobilnim stanicama. Osim toga, bazna stanica pruža i dodatne funkcionalnosti kao što su mobilne upravljačke funkcije, upravljanje radio resursima, osiguravanje QoS usluga, klasifikaciju prometa, DHCP (engl. Dynamic Host Control Protocol) te upravljanje korisnicima.

- ASN Gateway, ASN-GW - koriste se za prikupljanje prometa na 2. sloju. Pruža dodatne funkcionalnosti kao što su npr. upravljanje radio resursima, spremanje korisničkih profila, uspostavu i upravljanje mobilnih veza unutar baznih stanica, osiguravanje QoS usluga, te autentifikacija, autorizacija i upravljanje serverom.
- HA (engl. Home Agent) - nalazi se u WiMAX mreži, točnije CSN-u. Budući da zajedno sa Mobile IP-om formira ključni element u WiMAX tehnologiji surađiva sa "stranim agentom" kao što je ASN Gateway kako bi se postiglo efikasno "end-to-end" Mobile IP rješenje. Služi kao polazna točka za pretplatnike, osiguravajući QoS mogućnosti.
- AAA (engl. Authentication, Authorisation and Accounting Server) - Kao sa bilo kojim komunikacijskim ili bežičnim sustavom koji zahtjeva pretplatničke usluge, koristi se AAA server. Također se nalazi u CSN-u.

Kao i svaki sustav, zaštita i sigurnost su također dva ključna dijela WiMAX mreža.

WiMAX pruža autentifikaciju korisnika, kontrolu pristupa i privatnost koristeći naprednu autentifikacijsku i enkripcijsku tehnologiju. Korisnici se moraju osjećati sigurni u tijeku prenošenja podataka kako ne bi došlo do preslušivanja ili manipulacije tih istih podataka.

Šifriranje je postupak zaštite podataka te njihovog integriteta. Funkcionira na način tako da uzme podatke i „promiješa“ ih pomoću kompleksnog matematičkog algoritma te dobije šifrirani tekst. Taj tekst se šalje preko bežične mreže te je vrlo teško preslušivati. WiMAX sustav koristi AES (engl. Advanced Encryption Standard) šifriranje.



Slika 3.1.5. Vizualizacija AES šifriranja

AES je simetrična vrsta šifriranja, što znači da koristi isti kodni ključ za šifriranje i dešifriranje podataka. Također koristi SPN (engl. Substitution Permutation network) algoritam pomoću kojeg šifrira podatke više ciklusa. Upravo ti ciklusi su glavni razlog neprobojnosti AES šifriranja jer ima previše rundi da bi se nezakonito došlo do podataka. Postoje 3 dužine kodnih ključeva, a svaki kodni ključ ima različiti broj kombinacija. 128 – bitni ključ ima  $3.4 \times 10^{38}$ , 192 – bitni ključ ima  $6.2 \times 10^{57}$  a 256 – bitni ključ ima mogućih  $1.1 \times 10^{77}$  kombinacija.

Ovime dolazimo do pitanja zašto postoje različite duljine ključeva ako je najbolji 256 – bitni ključ? Razlog upravo u tome što za 256 – bitni ključ treba više vremena za šifriranje (više ciklusa) te zbog toga dolazi do veće potrošnje baterije. Srećom, trenutna tehnologija omogućava vrlo malu potrošnju baterije pa nema razloga zašto se ne bi koristilo 256 – bitno AES šifriranje.

Kao glavni upravljački protokol za šifriranje, WiMAX sustav koristi PKMv2 (engl. Privacy and Key Management Protocol). PKMv2 protokol služi za sigurni

prijenos ključeva za šifriranje između mobilne i bazne stanice te za validaciju identiteta korisnika i uspostavljanje autorizacijskog ključa.

Autentifikacija je proces validacije korisnika i često uključuje validaciju usluga kojima korisnik ima dozvoljeni pristup. WiMAX sustav koristi EAP (engl. Extensible Authentication Protocol) kako bi vršio autentifikaciju korisnika i kontrolu pristupa. EAP koristi EAP metode kao npr. EAP-TLS (engl. Transport Layer Security) pomoću čijih zahtjeva validaciju korisnika, osigurava kontrolu pristupa te čak može započeti proces naplate.

### **3.2 LTE Sustav**

LTE je započeo kao projekt 2004. godine od strane telekomunikacijske organizacije 3GPP. Evoluirao je od tadašnjeg 3G UMTS sustava, koji je evoluirao od 2G GSM sustava. Jedan od velikih čimbenika zaslužnih za razvoj LTE-a su bili pametni telefoni zbog kojih je broj dostupnih uređaja i aplikacija naglo porastao. Zahtjevi za ubrzanjem korištenja mobilnih podataka te pojave novih aplikacija poput mobilnog TV-a i streaminga motivirali su 3GPP da razvijaju LTE na putu prema četvrtoj generaciji.

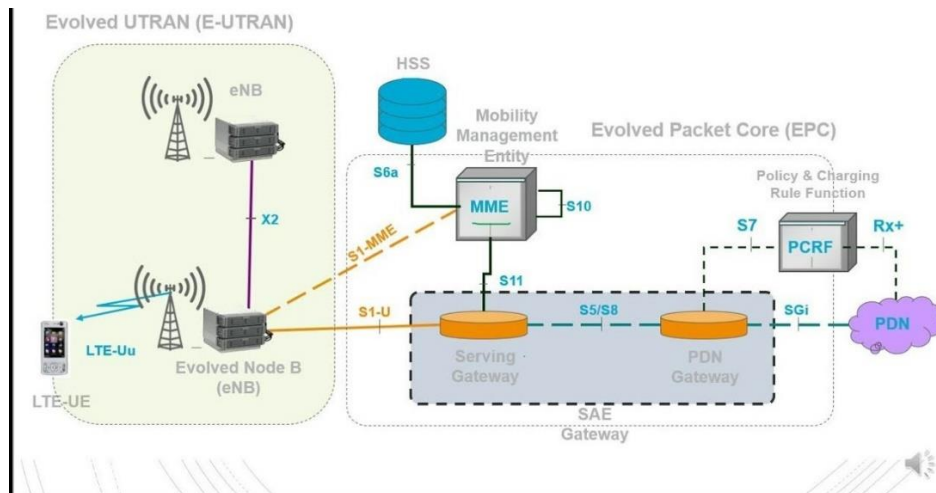
Cilj LTE-a je bila da pruža velike brzine, mala kašnjenja te optimiziranu tehnologiju paketa koja podržava fleksibilne frekvencijske pojaseve. Samim time njegova arhitektura je dizajnirana s ciljem da podržava promet s komutacijom paketa sa velikom mobilnošću te odličnim QoS uslugama.

Mrežna arhitektura LTE sustava sastoji se od 3 glavne komponente:

- Korisnička oprema (UE)
- E-UTRAN (engl. Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- EPC (engl. Evolved Packet Core)

EPC komunicira s podatkovnim mrežama u vanjskom svijetu kao npr. Internet te privatne korporacijske mreže.

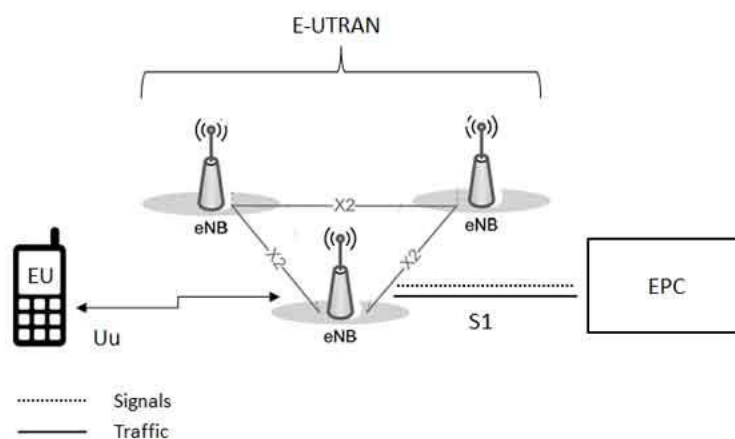




Slika 3.2.1 LTE Arhitektura

Arhitektura Korisničke Opreme (UE) identična je onoj koja se koristi u UMTS i GSM mrežama. Sastoji se od 3 glavna modula:

- Mobile Termination (MT) – upravlja svim komunikacijskim funkcijama
- Terminal Equipment (TE) – upravlja podatkovnim kanalima
- Universal Integrated Circuit Card (UICC) – poznata još kao SIM kartica za LTE opremu. Na njoj se nalazi aplikacija poznata kao USIM (Universal Subscriber Identity Module). USIM sprema podatke specifične korisniku slično kao i 3G SIM kartica.

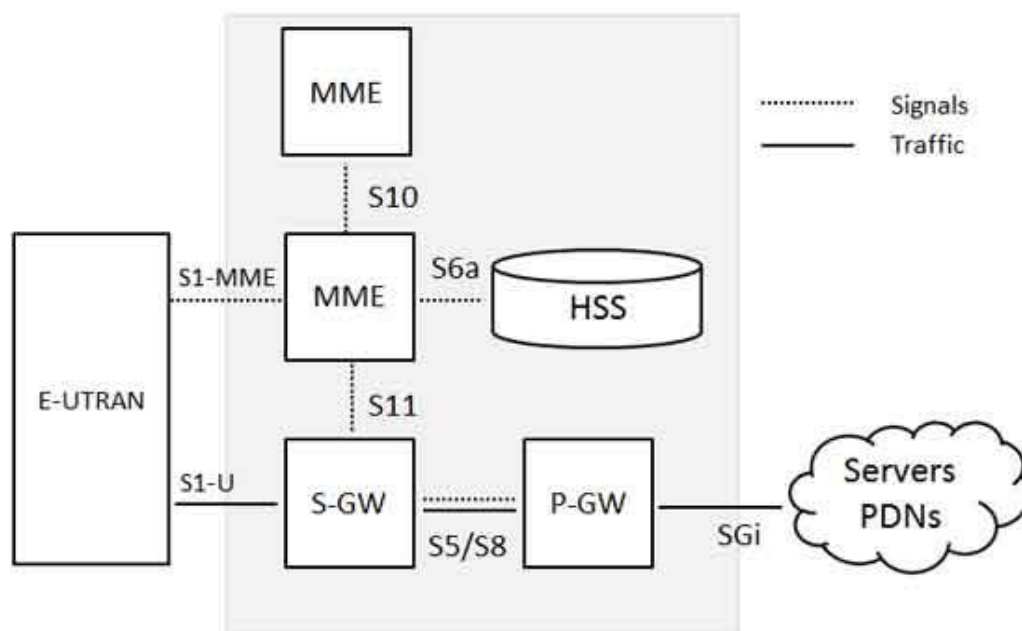


Slika 3.2.2 E-UTRAN Arhitektura

E-UTRAN upravlja radio komunikacijom između uređaja i EPC mreže te ima samo jednu komponentu, evoluiranu baznu stanicu eNB. Svaka eNB je bazna stanica koja kontrolira uređaje u jednoj ili više ćelija. eNB obavlja dvije glavne funkcije:

- Prima i odašilje radio transmisije svim mobilnim uređajima koristeći digitalne i analogne funkcije obrade podataka u LTE zračnom sučelju
- Kontrolira operacije nižih razina na mobilnim uređajima kao npr. Zahtjeve za primopredaju

Svaka eNB stanica se pomoću S1 sučelja povezuje na EPC kao i na susjedne bazne stanice pomoću X2 sučelja koje se koristi za signalizaciju te prosljeđivanje podataka. Kućna eNB stanicu može kupiti korisnik da bi osigurao pokrivenost unutar svog doma. Pripada zatvorenoj grupi pretplatnika te je njoj moguće pristupiti samo s odgovarajućim USIM-om.



Slika 3.2.3. Shema EPC mreže

Glavna ideja kod razvoja EPC mreže je da se podatkovnim prometom upravlja učinkovito iz perspektive performansi i troškova opreme. Mali broj mrežnih čvorova sudjeluje u rukovanju s prometom te se izbjegava pretvorba protokola. Odlučeno je da će se

signalizacija i korisnički podatkovni promet odvojiti što omogućava lakše dimenzioniranje i prilagođavanje mreže. EPC mreža se sastoji od 4 glavne komponente:

- Home Subscriber Server (HSS) – baza podataka koja sadrži korisničke i pretplatničke informacije. Također pruža funkcije podrške upravljanje mobilnošću, uspostavom i raskidom sesije, autentifikacije te autorizacije.
- Packet Data Network Gateway (P-GW) – služi kao pristupna točka s vanjskim IP mrežama te obavlja funkcije dodjele IP adresa, kontrole pravila te naplate.
- Serving Gateway (S-GW) – oponaša funkciju usmjerivača te prosljeđuje podatke između baze podataka i P-GW-a. Sučelje između P-GW i S-GW je poznato kao S5/S8. S5 sučelje se koristi ako su oba uređaja u istoj mreži, a S8 sučelje ako su u različitim mrežama.
- Mobility Management Entity (MME) – obavlja kontrolu signalizacije vezanu uz mobilnost i sigurnost za pristup E-UTRAN-u.

Metoda koju LTE mreža koristi za smjer silazne veze se naziva ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem (OFDM, Orthogonal Frequency Division-Multiplexing), a za smjer uzlazne veze koristi metodu višestrukog pristupa s raspodjelom frekvencija na jednom nosiocu (SC-FDMA, Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Prednosti OFDM tehnike su u tome što pruža otpornost na među-simbolnu interferenciju, zadovoljava zahtjeve LTE-a za fleksibilnost spektra te sprječava frekvencijsko slabljenje. Izjednačavanje kanala je pojednostavljeno jer OFDM koristi više sporo moduliranih uskih kanala, a ne jedan brzo modulirani široki kanal. Nedostatci su u tome što je OFDM osjetljiv na pomak frekvencije, odnosno Dopplerov efekt. SC-FDMA se koristi u komunikacijama uzlazne veze u kojima zbog omjera vrha i prosjeka snage dolazi do uvelike koristi kod mobilnih terminala u učinkovitosti energije potrebne za prijenos te troškova proizvodnje.

LTE-Advanced je mobilni telekomunikacijski standard i smatran je kao poboljšanje na postojeći LTE standard. Službeno je podnesen kao kandidat za 4G ITU-T 2009. godine te je standardiziran od strane 3GPP u ožujku 2011. godine kao 3GPP Release 10. Od LTE-Advanced-a se očekivalo da pruža brzine silazne veze od 3 Gb/s te 1.5 Gb/s uzlazne veze, poboljšano korištenje frekvencijskog spektra od maksimuma od 16bps/Hz do 30bps/Hz. Također se zahtijevao veći broj istovremeno aktivnih pretplatnika te poboljšane performanse na krajevima ćelija.

LTE-Advanced sustavi su razvijeni na način da su kompatibilni s LTE sustavom. LTE terminal bi trebao moći raditi u LTE-Advanced mreži i obrnuto.

#### **4. UNAPREĐENJA 4G U ODNOSU NA 3G MREŽE**

Kod arhitektura ove dvije mreže važno je spomenuti nedostatak kontrolera baznih stanica u 4G mreži. Samim time arhitektura postaje jednostavnija te dolazi do smanjenja troškova opreme. Pojavljuje se novo X2 sučelje koja obavlja dvije funkcije:

- X2-UP (engl. User Plane) – protokol koji šalje krajnje korisničke pakete između eNB stanica. Podržava uslugu identifikacije paketa te kontrolu gubitka paketa te koristi GTP-U protokol umjesto UDP ili IP kao protokol transportnog sloja
- X2-CP (engl. Control Plane) – koristi SCTP protokol transportnog sloja. Funkcija upravljanja opterećenjem omogućuje razmjenu informacija o prometu između eNB stanica u svrhu efikasnog rukovanja prometom

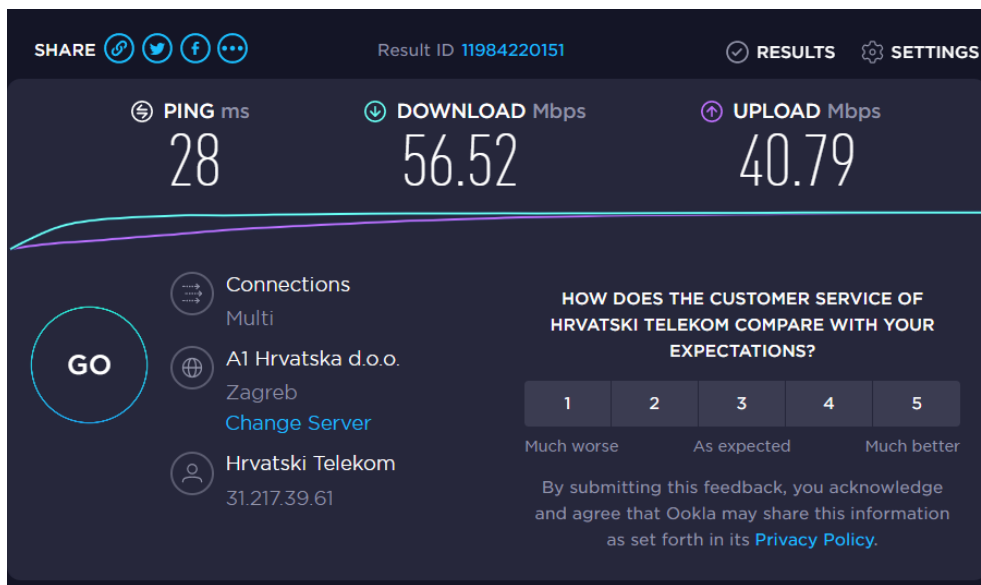
4G mreže koriste OFDM metodu za povećavanje informacije koja se može prenositi preko bežične mreže koristeći FDM modulacijsku tehniku za prijenos velike količine digitalnih podataka preko radiovala. OFDM funkcionira na način da radio signal dijeli na više manjih podsignala koji se onda istovremeno i različitim frekvencijama šalju primatelju. Tim postupkom se smanjuje količina preslušavanja u prijenosu i samim time čini 4G mrežu otpornijima na pogreške.

Za razliku od 4G, 3G mreže koriste WCDMA metodu koja se sastoji od 2 načina rada:

- Frequency Division Duplex (FDD) – tehnika gdje prijemnik i odašiljač rade na različitim frekvencijama npr., u mobilnim bežičnim mrežama, jedan dio frekvencijskog spektra je dodijeljen za uzlaznu, a drugi dio za silaznu vezu.
- Time Division Duplex (TDD) – tehnika gdje je uzlazna veza razdvojena od silazne veze pomoću dodjeljivanja različitih vremenskih odsječaka u istom frekvencijskom spektru. Ova je metoda vrlo povoljna jer često dolazi do asimetrije u brzinama uzlazne i silazne veze. TDD dijeli prijenos podataka u okvire te im dodjeljuje vremenske odsječke čime se objema vrstama prijenosa omogućuje dijeljenje prijenosnog medija.

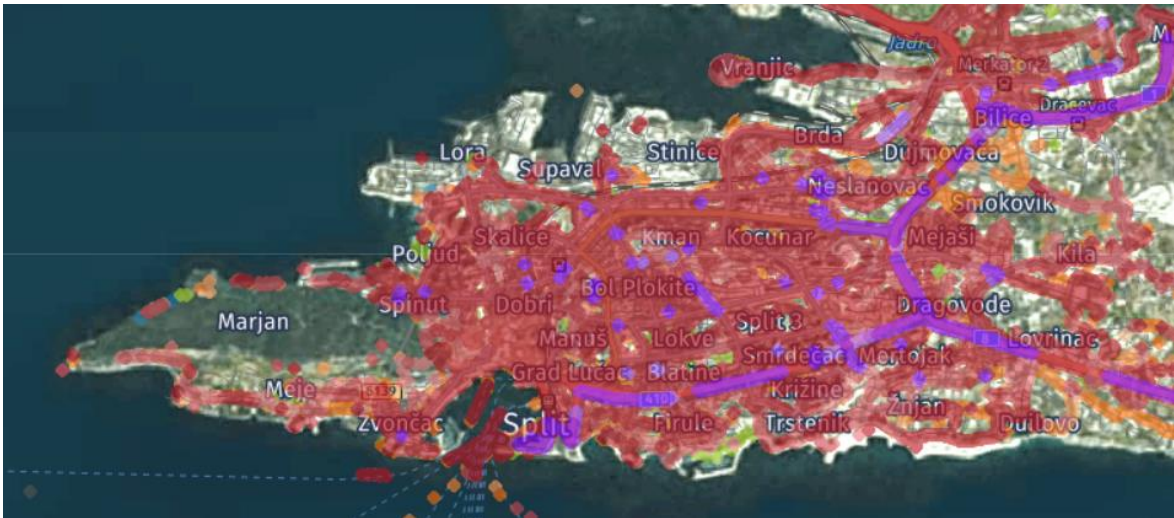
WCDMA za svoje zračno sučelje koristi CDMA multipleksiranje koje omogućuje većem broju korisnika pristup istom podatkovnom kanalu. Omogućuje nesinkroni radio pristup, jer W-CDMA ima svoj vlastiti sustav za sinkronizaciju te osigurava usluge s komutacijom kanala i paketa uz promjenjive pojasne širine.

Ipak, jedan od najvažnijih faktora kod uspoređivanja ove dvije generacije je brzina prijenosa, tj. „download“ i „upload“ brzina. Kod 3G mreža brzine se kreću od 2 Mbit/s u uzlaznoj vezi te 7.2 Mbit/s u silaznoj vezi. Naravno, brzina se razlikuje ovisno o faktorima kao što su jačina signala, trenutni promet na mreži te trenutna lokacija. 4G mreže nude brzine čak 10 puta veće od 3G mreža. Za 4G LTE mreže brzine se kreću od 150 Mbit/s u silaznoj vezi te 50 Mbit/s u uzlaznoj vezi. LTE-Advanced nudi još veće brzine, 300 Mbit/s u silaznoj vezi te 150 Mbit/s u uzlaznoj vezi koje ovise o trenutnoj tehnologiji mobilnog uređaja te lokaciji. Ipak ovo su zahtjevi brzina kojih se tele-operator mora držati kako bi imao vezu koja spada u kategoriju 3G ili 4G mreža.



Slika 4.1. Test brzine mobilnog uređaja

Na Slici 4.1. možemo vidjeti stvarne brzine 4G mreže testirane na osobnom mobilnom uređaju Samsung Galaxy A50. Možemo primijetiti da brzine silazne i uzlazne veze nisu jednake kao u prethodno navedenom paragrafu jer dolazi do utjecaja vanjskog svijeta, trenutne lokacije, daljine od bazne stanice te još puno faktora. Također se vrijeme potrebno do primitka odgovora od servera, poznato kao „ping“, mijenja ovisno gdje se taj server nalazi.



Slika 4.2. Područje pokrivenosti grada Split

Slika 4.2. prikazuje pokrivenost grada Split 4G i 5G mrežama. Primjećujemo kako je veliki dio grada pokriven 4G mrežom (crvena boja), dok je tek mali dio pokriven 5G mrežom (plava boja) jer je od trenutka ovoga rada još u procesu uvođenja.

## 5. USPOREDBA 5G I 4G MREŽA

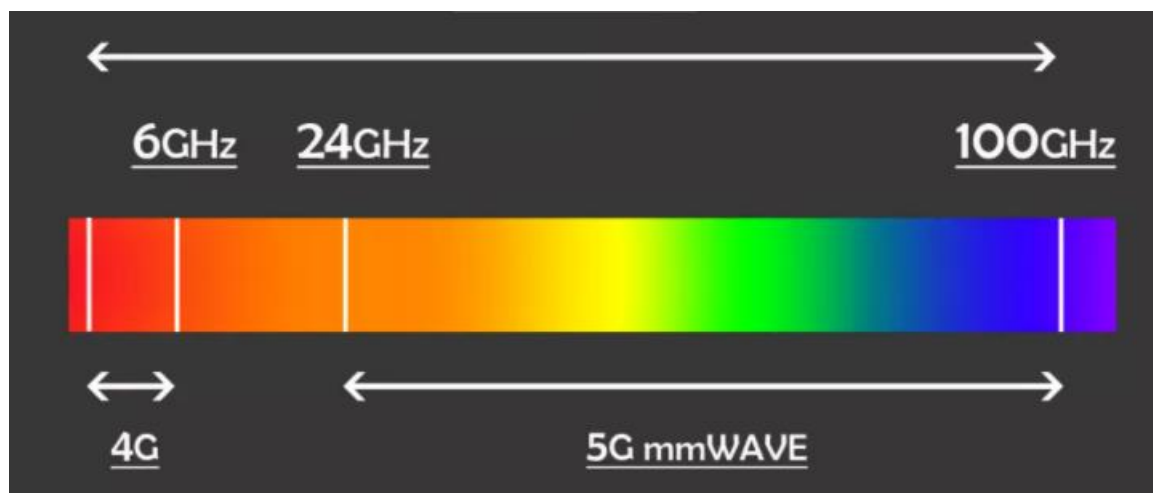
Jedan od velikih faktora kod usporedbe 4G i 5G tehnologije je upravo raspon frekvencijskog opsega u kojem rade. 5G mreže sljedeće generacije ne samo da će pružiti pouzdanu pokrivenost na širokim područjima, već će biti sposobne implementirati veliki broj IoT ( Internet of Things) uređaja i potpuno nove poslovne operacije što zahtijeva brze veze malog kašnjenja s velikim kapacitetima. Kako bi ovo bilo omogućeno, mobilni operateri će trebati koristiti širi spektar frekvencija. Postoji nekoliko frekvencijskih opsega koje koriste 5G mreže:

- < 6 GHz
- 2 – 6 GHz
- 6 – 300 GHz

Frekvencijski spektar je ograničen, što dovodi do zajedničkih napora svjetskih vlada i regulatora da oslobode što više spektra jer u 5G mrežama prepoznaju nove potencijalne

gospodarske i društvene mogućnosti. Zato se posebna pozornost predaje frekvencijskim opsezima za koje se smatralo nepogodnima za mobilne mreže. Ti opsezi su bili dodijeljeni javnim te vojnim industrijama. Opsezi visokog dometa pružaju velike količine kapaciteta preko ograničenog geografskog područja. U slučaju urbano naseljenih područja dolazi do potražnje za većim kapacitetom, u drugim riječima nalazi se ogroman broj uređaja.

U tu svrhu se koristi mmWave (milimetarski spektar) spektar frekvencija. Raspon frekvencija mmWave spektra je od 24 GHz do 300GHz (Slika 15.), nalazi se između mikrovalova i infra-red frekvencija. Trenutno se koristi u svrhu znanstvenih i vojnih istraživanja te policijskih radara. Ali i on nije bez svojih nedostataka kao što su kratki domet, uske valne duljine koje su osjetljive na atmosferske uvjete te zabrinutost oko općeg zdravlja stanovništva zbog utjecaja koje ti valovi imaju na ljudski organizam.



Slika 5.1. Frekvencijski opseg 5G mreža

Pomoću mikroinfrastrukture, kombinirane s malim ćelijama postavljenim oko gusto naseljenih područja i velikim opsegom frekvencija, mmWave će biti ključna karakteristika 5G mreža. Efikasnost spektra se povećava jer je mmWave potreban samo na limitiranoj udaljenosti te uskih valnih duljina koje smanjuju rizik interferencije od ostalih ćelija.

## 6. ZAKLJUČAK

Prateći razvoj mobilnih tehnologija od 1. generacije koja je koristila analogni način rada pa sve do sadašnje 5. generacije koja nudi širokopolasne brzine rada, mobilnu televiziju te video pozive primjećujemo želju povećanjem informacijskog volumena. U početku su mobilni uređaji bili luksuz, no to se brzo promijenilo naglim porastom broja korisnika što je dovelo do povećanja količine mrežne opreme. Velika važnost je predana korištenju zajedničkog standarda za mobilne mreže koje će koristiti sve države svijeta. 4G mreže su bile revolucionarne u svojim pokušajima za što većom brzinom prijenosa te dostupnosti diljem svijeta. Prelazak na kompletnu IP arhitekturu dovelo je do većih i poboljšanih sigurnosnih razina u svrhu zaštite od napada. Uklanjanje elemenata u arhitekturi kao što su bazni kontroleri su omogućili manju latenciju. Kada pogledamo razlike između 3G i 4G mreža primjećujemo nekoliko važnih faktora. Ti faktori su potreba za povećanjem informacijskog volumena, jednostavnost arhitekture te implementacija što većeg broja uređaja. Mobilna mreža pete generacije imat će vrlo važnu ulogu u našem životu pružajući pristup novim informacijama te povećanju privatnosti i sigurnosti. Omogućiti će koncept IoT, direktnu komunikaciju uređaja sa mrežnom infrastrukturom.



## LITERATURA

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>
- [2] Winton A. , Vakante D. MOBILNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI, Veleučilište u Splitu, Split, prosinac 2002.
- [3] Electronic notes, 3G UMTS Network Architecture ; Dostupno na: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-umts/network-architecture.php>
- [4] 3GPP; 3rd Generation Partnership Program, Dostupno na: <https://www.3gpp.org/specifications/releases>
- [5] mr.sc. Burazer B. dipl. Ing. BUDUĆNOST MOBILNIH KOMUNIKACIJA I IZAZOVI NORMIZACIJE, Hrvatski zavod za norme Ulica grada Vukovara 78, 10000 Zagreb
- [5] What's a G; 4G AND LTE STANDARDS, Dostupno na: <https://whatsag.com/category/4g-and-lte-standards>
- [6] TutorialsPoint; LONG TERM EVOLUTION WIRELESS COMMUNICATION, Dostupno na: [https://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm)
- [7] Electronic notes, 4G LTE ADVANCED, Dostupno na: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/what-is-lte-advanced.php>
- [8] Kumar, Amit Krishan, Yunfei Liu and J. Sengupta. "Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G." 2010.
- [9] Segan S. What Is 5G?, PCMag, 26. Kolovoz 2021. Dostupno na: <https://www.pcmag.com/news/what-is-5g>
- [10] 5G Pokrivenost signala, Dostupno na: <https://www.nperf.com/hr/map/HR/-/7915.T-Mobile/signal/?ll=43.509094512469616&lg=16.463699340820316&zoom=13>

## POPIS SLIKA

Slika 1.1. Mobilni telefon Motorola DynaTAC 8000x .....	3
Slika 2.2. Arhitektura GSM mreže .....	5
Slika 3.1.1 Bežični UGS sustav .....	14
Slika 3.1.3 Dodjeljivanje resursa pomoću rtPS algoritma.....	16
Slika 3.1.4 Referentni model WiMax arhitekture.....	17
Slika 3.1.5. Vizualizacija AES šifriranja.....	19
Slika 3.2.1 LTE Arhitektura .....	21
Slika 3.2.2 E-UTRAN Arhitektura .....	21
Slika 3.2.3. Shema EPC mreže .....	22
Slika 4.1. Test brzine mobilnog uređaja .....	25
Slika 4.2. Područje pokrivenosti grada Split .....	26
Slika 5.1. Frekvencijski opseg 5G mreža .....	27