

5G mobilni komunikacijski sustavi

Fundak, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:456609>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-05**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

5G MOBILNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI

Završni rad

Dora Fundak

Osijek, 2016.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 05.09.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite**Prijedlog ocjene završnog rada**

| | |
|---|---|
| Ime i prezime studenta: | Dora Fundak |
| Studij, smjer: | Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | 3739, 28.08.2013. |
| OIB studenta: | 03711649011 |
| Mentor: | Doc.dr.sc. Mario Vranješ |
| Sumentor: | |
| Naslov završnog rada: | 5G mobilni komunikacijski sustavi |
| Znanstvena grana rada: | Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika) |
| Predložena ocjena završnog rada: | Izvrstan (5) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 Jasnoća pismenog izražavanja: 3 Razina samostalnosti: 3 |
| Datum prijedloga ocjene mentora: | 05.09.2016. |
| Datum potvrde ocjene Odbora: | 28.09.2016. |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija: | Potpis: |
| | Datum: |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 28.09.2016.

Ime i prezime studenta:

Dora Fundak

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

3739, 28.08.2013.

Ephorus podudaranje [%]:

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **5G mobilni komunikacijski sustavi**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Mario Vranješ

i sumentora

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

Potpis studenta:

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 1. 1. Zadatak završnog rada | 1 |
| 2. Dosadašnje generacije mobilnih komunikacijskih sustava | 2 |
| 2. 1. Komunikacijski sustavi | 2 |
| 2. 2. 1G komunikacijski sustavi | 4 |
| 2. 3. 2G komunikacijski sustavi | 5 |
| 2. 4. 3G komunikacijski sustavi | 9 |
| 2. 5. 4G komunikacijski sustavi | 11 |
| 3. Peta generacija mobilnih komunikacijskih sustava | 15 |
| 3. 1. Razvoj 5G sustava..... | 16 |
| 3. 2. Specifikacije 5G sustava | 17 |
| 3. 3. Mrežna arhitektura i tehnologija 5G sustava | 19 |
| 3. 4. Uporaba 5G sustava | 22 |
| 4. Trenutno stanje na tržištu mobilnih komunikacijskih sustava | 24 |
| 4. 1. Svjetsko tržište | 25 |
| 4. 2. Europsko tržište | 27 |
| 4. 3. Tržište Republike Hrvatske..... | 28 |
| 5. Zaključak..... | 32 |
| Literatura | 33 |
| Popis kratica | 35 |
| Sažetak | 37 |
| Životopis..... | 38 |

1. UVOD

U posljednjih je tridesetak godina razvijeno nekoliko mobilnih komunikacijskih sustava od kojih je svaki donosio novine i poboljšanja u odnosu na svog prethodnika. Četvrta generacija tek ulazi u široku primjenu, a već se intenzivno razvija novi sustav. Sve popularnije video i audio strujanje (engl. *streaming*), a i sve veća podatkovna komunikacija među uređajima zahtijevaju veće dostupne brzine prijenosa podataka i manja kašnjenja. Nova peta generacija mobilnih komunikacijskih sustava bi trebala zadovoljiti te zahtjeve i donijeti nove funkcionalnosti. Specifikacije i mnoge druge karakteristike pete generacije prikazane su u ovom radu koji se sastoji od pet poglavlja. Drugo poglavlje prikazuje razvoj komunikacijskih sustava kroz godine. Prvo su objašnjeni komunikacijski sustavi općenito, a nakon toga svi dosadašnji mobilni komunikacijski sustavi od prve do četvrte generacije. Treće poglavlje sadrži opis pete generacije mobilnih komunikacijskih sustava, odnosno što se od nje očekuje, kakvu bi arhitekturu mogla imati i moguće primjene. Četvrto poglavlje predstavlja osvrt na stanje tržišta mobilnih komunikacijskih sustava u svijetu, Europi i Hrvatskoj.

1. 1. Zadatak završnog rada

Zadatak je ovog završnog rada dati pregled generacija mobilnih komunikacijskih sustava, od prve do četvrte generacije, ističući novine svakog sustava u odnosu na prethodni. U radu je potrebno detaljno opisati mobilne komunikacijske sustave pete generacije i iznijeti prognoze termina implementacije 5G sustava u pojedinim dijelovima svijeta. Od druge do pete generacije sustava treba usporediti trenutno stanje na tržištu u svijetu i u Republici Hrvatskoj.

2. DOSADAŠNJE GENERACIJE MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

Komunikacija predstavlja prijenos informacije, a komunicirati znači dijeliti informaciju s drugima. Potreba za komuniciranjem postojala je od početka ljudskog razvoja te je prisutna i danas. Kroz povijest se većina ljudske komunikacije obavljala usmenim ili pismenim putem, ali u današnje je vrijeme sve raširenija elektronska komunikacija. Potreba za komunikacijom povećava se s tehnološkim razvojem, a čovjek današnjice ima izraženu potrebu za brzom, neometanom i sveobuhvatnom komunikacijom. Ta se potreba današnjice može zadovoljiti pomoću komunikacijskih sustava koji su prisutni skoro svugdje u svijetu.

2.1. Komunikacijski sustavi

Komunikacijski sustav integrirana je struktura sklopovlja i opreme koji je dizajniran kako bi prenosio informaciju. Na slici 2.1. prikazan je blok dijagram komunikacijskog sustava.

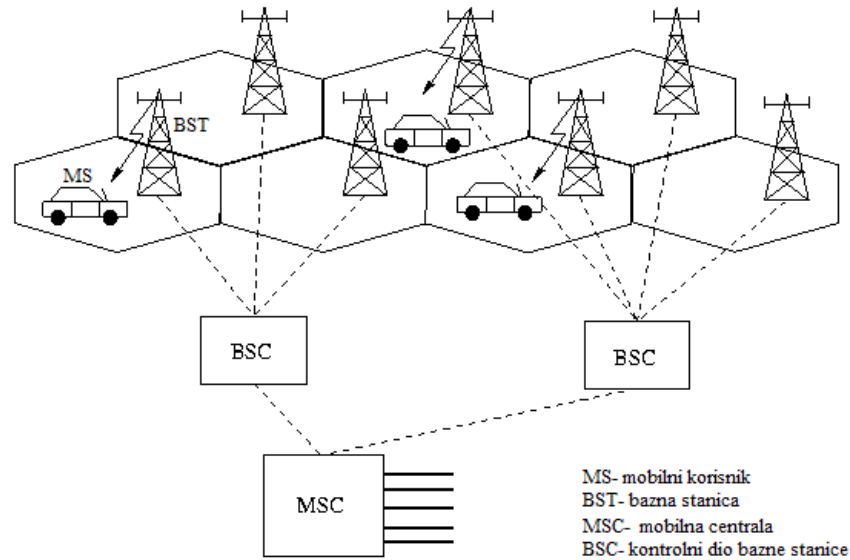


Slika 2.1. Blok dijagram komunikacijskog sustava

Informacija koja se želi prenijeti komunikacijskim sustavom može biti zvučna, TV signal ili digitalni video, a u kojem god početnom obliku bila, na ulazu u sustav pretvara se u električni (ulazni) signal. Predajnik pretvara ulazni signal u oblik pogodan za prijenos tako što vrši postupak modulacije. Po prirodi, signal je analogan i kako bi se digitalizirao treba se uzorkovati, kvantizirati i kodirati te time pretvoriti u digitalni oblik.

Komunikacijski kanal je prijenosni medij i može biti omeđen ili neomeđen. Pod omeđeni medij spadaju upredena parica, koaksijalni kabel i optičke niti. Neomeđeni medij predstavlja radijski i infracrveni prijenos. Signal se modulacijom pretvara u električni signal ili elektromagnetski val. Električni se signal prenosi omeđenim medijem, a elektromagnetski se val može prenositi kao svjetlost optičkim nitima ili kao radio-frekvencijski signal slobodnim prostorom. Prijemnik odabire ulazne signale i rekonstruira odaslani signal [1].

Tehnologije koje omogućuju radijski pristup dijele se na tri skupine u ovisnosti o mobilnosti korisnika: nepokretni radijski pristup, nomadski radijski pristup i mobilni radijski pristup [2]. Mobilne su komunikacije nastale iz želje za mobilnošću i neovisnosti o fizičkoj vezi. U tom su slučaju predajnik i prijemnik antene, a komunikacijski kanal je slobodni prostor. Mobilnost se ostvaruje sustavom baznih postaja koje radio signalom pokrivaju određeno područje koje se naziva ćelija. Slika 2.2. prikazuje pojednostavljeni prikaz mobilnog komunikacijskog sustava s osnovnim dijelovima.



Slika 2.2. Mobilni komunikacijski sustav [3].

Ćelijski koncept koriste svi važniji mobilni sustavi. On omogućuje velik broj pokretnih korisnika, efikasnu uporabu radio frekvencijskog spektra, veliku pokrivenost, prilagodljivost uvjetima, usluge telefoniranja i posebne usluge. Frekvencijski spektar je ograničen i potrebno je pažljivo planiranje pri dodjeli frekvencija. Osnovni koncept efikasnog iskorištavanja spektra su ponovno korištenje frekvencije i dijeljenje ćelija. Bazna stanica koristi skup frekvencija različitih od frekvencija koje koriste susjedne ćelije, ali ponovno korištenje istog skupa frekvencija moguće je u ćelijama koje su dovoljno udaljene. Dijeljenje ćelija znači podjela jedne ćelije na više manjih kako bi se zadovoljio povećani zahtjev za prometom u mreži.

Antena ima dvije uloge, prilagođava impedanciju pojnog voda na impedanciju slobodnog prostora i pojačava signala odašiljača ili prijemnika. Antene za mobilne uređaje trebaju biti malih dimenzija. Snaga koju zrače je manja od snage bazne stanice i ograničena je napajanjem i zdravstvenim zahtjevima. Novi mobilni uređaji rade u više frekvencijskih pojaseva pa moraju imati za to odgovarajuće antene [1].

2. 2. 1G komunikacijski sustavi

U Bell laboratoriju, 1966. godine, odlučili su postaviti analogni sustav prijenosa podataka s FM modulacijom kao standard za komunikacijske sustave jer je u to vrijeme izrada digitalnih radio sustava bila skupa. Početkom 1980-ih započela je era mobilnih komunikacija, a prva generacija mobilnih komunikacijskih sustava bila je zasnovana na analognoj tehnologiji. Prvi mobilni komunikacijski sustav u svijetu bio je dostupan 1979. godine u Tokiju koji je razvila Japanska tvrtka Nippon Telegraph, a dvije godine nakon toga došao je u Europu.

Kao tehnika pristupanja za ostvarivanje veze između pretplatnika i bazne stanice korišten je višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom kanala FDMA (engl. *frequency division multiplex access*). FDMA je metoda prijenosa podataka kod koje se frekvencije iz šireg pojasa dijele na uže frekvencijske pojaseve koji se nazivaju kanali. Jedan se kanal dodjeljuje jednoj komunikaciji tako da se u svakom od kanala izvodi samo jedan prijenos. Metoda je posebno pogodna za prijenos analognih signala kakvi su i bili signali prve generacije.

U Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) 1982. godine pojavio se sustav AMPS (engl. *Advanced Mobile Phone System*) koji je razvila tvrtke AT&T. AMPS je koristio frekvencijski opseg od 50 MHz (od 824 do 849 MHz za uzlaznu vezu i od 869 do 894 MHz za silaznu vezu). Imao je 832 kanala, po 416 kanala za svaki smjer prijenosa, i brzinu prijenosa podataka 10 kbit/s. Veliki problem sustava bio je taj što komunikacija nije bila šifrirana pa su se razgovori mogli prislušivati [4].

Motorola DynaTAC mobilni telefon postao je javnosti dostupan 1983. godine u Americi kao prvi mobilni telefon razvijen za 1G mrežu. Mobilni se telefon mogao koristiti 35 minuta i trebalo mu je 10 sati da se napuni. Težio je 0.8 kilograma, bio je dugačak 33 centimetra i mogao je memorirati 30 brojeva.

Dva najrasprostranjenija sustava u Europi su bila NMT (engl. *Nordic Mobile Telephones*) i TACS (engl. *Total Acces Communication System*). NMT je bio prvi europski multinacionalni sustav koji se koristio u Danskoj, Finskoj, Švedskoj i Norveškoj. TACS je razvijen u Velikoj Britaniji 1985. godine kao unaprijeđeni oblik AMPS-a. Tablica 2.1. prikazuje usporedbu karakteristika standarda komunikacijskih sustava prve generacije. Može se primijetiti kako se karakteristike razlikuju i da različiti standardi nisu kompatibilni [4].

Tablica 2.1. Karakteristike AMPS, TACS I NMT-450 sustava [5].

| | AMPS | TACS | NMT-450 |
|------------------------------|---------|---------|---------|
| Opseg za silaznu vezu [MHz]. | 869-894 | 934-960 | 463-468 |
| Opseg za uzlaznu vezu [MHz]. | 824-849 | 890-915 | 453-458 |
| Metoda višestrukog pristupa | FDMA | FDMA | FDMA |
| Modulacija | FM | FM | FM |
| Broj kanala | 832 | 1000 | 200 |
| Širina kanala [kHz]. | 30 | 25 | 25 |

Mobilni komunikacijski sustavi prve generacije imali su puno nedostataka. Imali su skromne performanse, kvalitetu signala i razinu sigurnosti. Omogućavali su samo glasovne pozive, a slanje poruka ili podataka nije bilo moguće. Ograničeni kapacitet i područje pokrivanja kao i nekompatibilnost između sustava različitih država bili su samo neki od razloga zbog kojih se krajem 1980-ih shvatilo kako takvi analogni sustavi ne mogu funkcionirati na svjetskoj razini. Zbog sve većih zahtjeva korisnika počeo je razvoj sljedeće generacije mobilnih sustava.

2. 3. 2G komunikacijski sustavi

Druga generacija (2G) mobilnih komunikacijskih sustava predstavljena je krajem 1980. godine. Za razliku od 1G sustava, 2G sustav koristi digitalne tehnologije višestrukog pristupa TDMA (engl. *Time Division Multiple Acces*) ili CDMA (engl. *Code Division Multiple Access*). One su uvele veću spektralnu efikasnost prijenosa podataka i bolju kvalitetu zvuka.

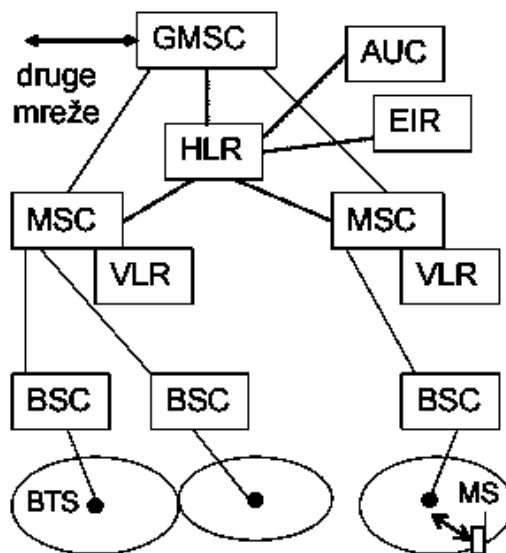
TDMA je višestruki pristup s podjelom vremena i najčešće je korišten. U toj se metodi prijenosa jedan kanal dijeli na vremenske intervale koji se nazivaju otvorima. U svakom se od tih otvora prenosi sadržaj jedne komunikacije. Ta metoda omogućuje odvijanje više paralelnih komunikacija na jednom kanalu. Sadržaj svake komunikacije prenosi se u jednom kratkom vremenskom intervalu i proces se ponavlja za sve komunikacije koje se odvijaju na tom kanalu.

Kao i za 1G sustav, za 2G mobilni komunikacijski sustav razvijeno je nekoliko različitih tehnologija. GSM (engl. *Global System for Mobile Communication*) se pojavio u Finskoj 1991. godine, IS-136 i IS-95 (engl. *Interim Standard, IS*) u Americi kao konkurentski sustavi, a PDC (engl. *Personal Digital Cellular*) u Japanu 1993. godine [6].

D-AMPS objedinjuje IS-136 i IS-54 uz dodatak novih funkcija. On je nastao kao digitalna verzija i nasljednik AMPS sustava. Bazira se na TDMA višestrukome pristupu i koristi frekvencijsko područje od 800 do 900 MHz. Ušao je u široku upotrebu 1993. godine u Sjevernoj i Latinskoj Americi kao i u nekim dijelovima Azije. Službeno je izašao iz uporabe 2008. godine kad je dana prednost GSM-u [6].

GSM je danas najrasprostranjeniji telekomunikacijski sustav u svijetu. Razvio ga je ETSI (engl. *European Telecommunications Standards Institution*) 80-ih godina, a 1991. godine uveden je kao standard druge generacije mobilnih komunikacijskih sustava. Taj je sustav jako brzo zamijenio različite analogne sustave u Europi. Koristi verziju TDMA višestrukog pristupa. Klasični se GSM koristi za telefonske razgovore, slanje tekstualnih poruka i fax-a. Brzina slanja podataka je 9,6 kbit/s, a uz napredno programiranje može biti i do 14,4 kbit/s [6].

Slika 2.3. prikazuje arhitekturu GSM-a gdje pokretna stanica (engl. *Mobile Station, MS*) predstavlja korisnika koji koristi terminalni uređaj u kojem se nalazi SIM (engl. *Subscriber Identity Module*) kartica koja je zaštićena lozinkom od neovlaštene uporabe.



Slika 2.3. Arhitektura GSM mreže [7].

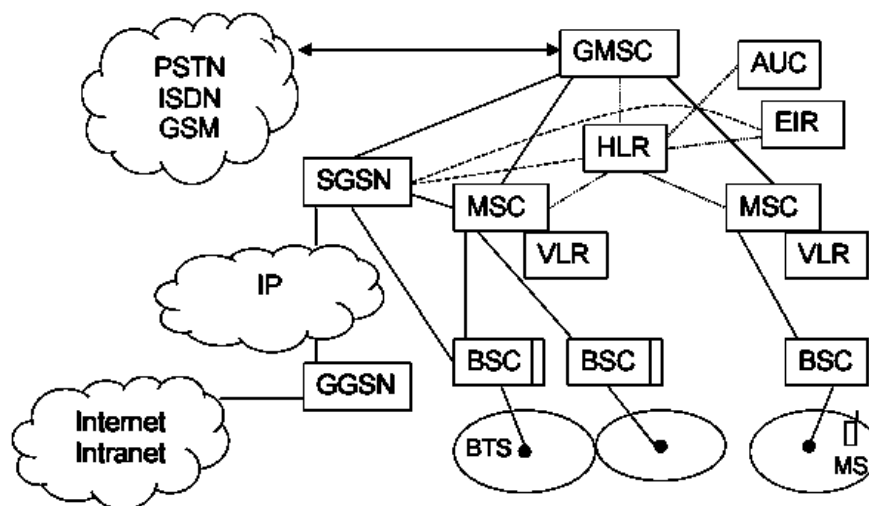
Podsustav bazne stanice (engl. *Base Station Subsystem, BSS*) sastoji se od kontrolnog dijela bazne stanice (engl. *Base Station Controller, BSC*) i primopredajne bazne stanice (engl. *Base Transceiver Station, BTS*). BTS je stanica koja sadrži prijemnik i odašiljač te upravlja protokolima kojima komunicira s MS. BSC kontrolira grupu baznih stanica, upravlja resursima i zadužen je za uspostavljanje kanala [7].

Mobilni komutacijski centar (engl. *Mobile Switching Centre*, MSC) upravlja komunikacijom između korisnika, sadržava baze korisnika i upravlja mobilnošću korisnika. MSC je kontrolna komponenta koja obavlja osnovne komutacijske i specijalizirane funkcije vezane za mrežu. Uz svaki se MSC nalaze: registar domaćih pretplatnika (engl. *Home Location Register*, HLR), registar gostujućih pretplatnika (engl. *Visitor Location Register*, VLR), centar za provjeru autentičnosti pretplatnika (engl. *Authentication Centre*, AuC) i registar za identifikaciju opreme (engl. *Equipment Identification Register*, EIR). HLR sadrži podatke o matičnim korisnicima GSM mreže, VLR sadrži podatke o korisnicima koji su došli sa područja druge ćelije, AuC sadrži kopije svih ključeva SIM kartice koji se koriste za autentifikaciju, a EIR je baza podataka koja sadrži listu mobilnih uređaja koji mogu pristupiti sustavu [7].

Prilazni pokretni komutacijski centar (engl. *Gateway Mobile Switching Center*, GMSC) ima prevodilačku funkciju između različitih mreža. Na njemu može postojati nadogradnja SMSC (engl. *SMS Center*) koji služi za pohranu i prosljeđivanje poruka te VMS (engl. *Voice Mail Service*) za ostavljanje glasovnih poruka. SMS nadogradnja se pokazala kao veliki uspjeh i SMS poruke su zauzele većina prometa u GSM mrežama [7].

Prvo proširenje GSM-a bio je HSCSD (engl. *High Speed Circuit-Switched Data*) koji je bio softverska nadogradnja već postojećih mreža, ali je omogućio (teoretsku) maksimalnu brzinu od 115,2 kbit/s spajanjem 8 vremenskih otvora. Sljedeći korak u razvoju GSM podatkovnih usluga bio je GPRS (engl. *Global Packet Radio System*).

GPRS je standardiziran 1998. godine, a komercijalna upotreba započela je 2001. godine. Naziva se i 2,5G jer predstavlja korak prema 3G mrežama. Omogućuje slanje i primanje podataka mrežom uz brzinu prijenosa do 115 kbit/s, kraće vrijeme spajanja, mogućnost pristupa Internetu i nove usluge poput MMS-a (engl. *Multimedia Messaging Service*). Omogućuje komunikaciju tako što rezervira kanale samo kad korisnik želi slati podatke pa to omogućuje naplatu po ostvarenom prometu, a ne po trajanju podatkovne veze kao što je do tad bio slučaj. GPRS predstavlja nadogradnju GSM mreže pa se arhitektura mreže (slika 2.4.) razlikuje samo u nekoliko mrežnih elemenata [6].



Slika 2.4. Arhitektura GPRS mreže [7].

Novi mrežni elementi su uslužni GPRS potporni čvor (engl. *Serving GPRS Support Node*, SGSN) koji poslužuje korisnika i prilazni GPRS potporni čvor (engl. *Gateway GPRS Support Node*, GGSN) povezuje korisnika s drugim podatkovnim mrežama. BSC se proširuje paketskom kontrolnom jedinicom (engl. *Packet Control Unit*, PCU) koji se povezuje s paketskim dijelom mreže protokolom IP [7].

EDGE (engl. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) je nadogradnja GPRS mreže iz 2003. godine koja predstavlja 2,75 G. Nadogradnja donosi veće brzine prijenosa podataka i do 384 kbit/s, nije ju bilo teško instalirati jer donosi neke softverske i male hardverske promjene.

Ključne razlike između 1G i 2G sustava su što kod 2G postoje kanali za digitalni prijenos podataka, korisnički podaci se kodiraju te postoji mogućnost detekcije i ispravka pogrešaka nastalih u prijenosu. Zbog digitalnog načina prijenosa podataka potreban je manji omjer signal/šum za jednaku kvalitetu signala. Korištenje nove tehnologije omogućilo je fizički manje mobilne uređaje i opremu. 2G mobilni komunikacijski sustav i danas dominira, ali kao i svaki sustav ima svoje nedostatke. Brzine su u praksi niže jer kako bi se postigle maksimalne brzine prijenosa podataka, jedan bi korisnik trebao koristiti svih osam vremenskih okvira bez ikakve zaštite od pogrešaka. Paketi se šalju u različitim smjerovima pa se neki izgube, a neki postanu neuporabljivi. Zbog toga se koristi retransmisija i očuvanje podataka, ali to unosi prijelazna kašnjenja.

2. 4. 3G komunikacijski sustavi

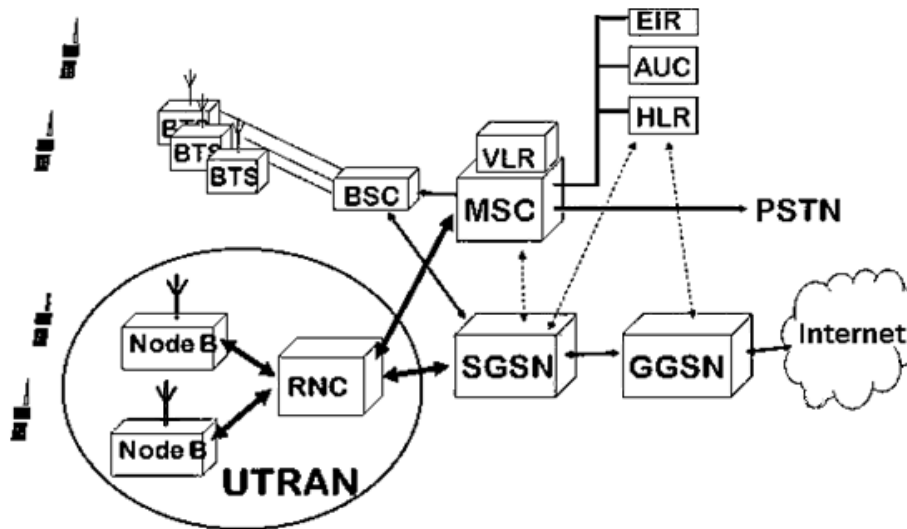
Treća generacija (3G) mobilnih komunikacijskih sustava ušla je u široku uporabu 2001. godine. Karakterizira ju promjena usmjerenosti s glasovnih usluga i poruka na veće brzine prijenosa i pristup Internetu. Standardizacija sustava više je usredotočena na potrebe korisnika nego na tehnologiju što je dovelo do mnogo konkurentskih sustava.

ITU (engl. *International Telecommunication Union*) organizacija je standardom IMT-2000 definirala zahtjeve koje bi svaka 3G mreža trebala zadovoljiti. Nakon njih taj je posao preuzela organizacija 3GPP (engl. *3rd Generation Partnership Project*). U Europi je taj standard utjelovljen kao komunikacijski sustav pod nazivom UMTS (engl. *Universal Terrestrial Mobile System*). Zahtjevi standarda IMT-2000 za brzine prijenosa su brzina od 2 Mbit/s za stacionarne korisnike, minimalna brzina prijenosa od 384 kbit/s za pješake i 144 kbit/s za korisnike u vozilima. Zahtjeva se kompatibilnost s prethodnim sustavima i prilagodljivost. Bitna je mogućnost *roaminga* i visoka kvaliteta prijenosa podataka [6].

Prva komercijalna 3G mreža bila je dostupna u Japanu 2001. godine. Zvala se FOMA i koristila je W-CDMA (engl. *Wideband-Code Division Multiple Access*) način višestrukog pristupa. Druga 3G mreža započela je s radom u Južnoj Koreji 2002. godine, a bazirala se na 1xEV-DO tehnologiji. U Europi je prvo bila dostupna u Italiji i Ujedinjenom Kraljevstvu 2003. godine i koristila je W-CDMA tehnologiju. Neke države nisu odmah započele s korištenjem 3G sustava zbog velikih troškova nove opreme i visokih cijena frekvencijskih opsega [6].

UMTS je jedan od sustava koji zadovoljava IMT-2000 standard za 3G mreže. Podržava usluge i aplikacije kao što su pristup Internetu i Intranetu, slanje i primanje multimedijских poruka te usluge temeljene na lokaciji. Najčešće korištena tehnologija pristupa je W-CDMA koja je slična kao CDMA, ali postoji razlika u širini pojasa. U svakom se smjeru koristi kanal širine 5 MHz, a moguće su brzine od 384 kbit/s do 2Mbit/s. Zbog šireg spektra manja je osjetljivost na uskopojasne interferencije i prigušivanja, ali se povećava razina interferencije od drugih pretplatnika.

Na slici 2.5. prikazana je arhitektura UMTS mreže.



Slika 2.5. Arhitektura UMTS mreže [8].

Bitno je reći da UMTS nije zamjena za GSM tehnologiju nego je nadogradnja. Glavna razlika GSM/GPRS i UMTS mreže je tehnologija pristupa koja je zahtijevala izgradnju nove radijske pristupne mreže. Mobilni se uređaji priključuju na sustav putem UTRAN (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) pristupne mreže koja sadrži nove mrežne elemente, Node-B ili čvor-B i upravljač radijske mreže (engl. *Radio Network Controller*, RNC). RNC obavlja sličnu funkciju kao BSC u GSM mreži, a Node-B kao BTS. Time se zadržava djelomična kompatibilnost sa starim sustavom.

HSPA (engl. *High Speed Packet Access*) je integracija dva protokola HSDPA (engl. *High-Speed Downlink Packet Access*) i HSUPA (engl. *High-Speed Uplink Packet Access*). Prvi korak nadogradnje UMTS mreže je nadogradnja s HSDPA koji se odnosi na silaznu vezu, a nakon toga HSUPA koji se odnosi na uzlaznu vezu. To su samo softverske nadogradnje RNS-a i čvora B te ne zahtijevaju uvođenje novih mrežnih elemenata. HSPA se smatra 3,5G mrežom jer nudi maksimalne brzine do 14,4 Mbit/s po ćeliji u silaznoj vezi i 5,76 Mbit/s po ćeliji u uzlaznoj vezi. HSPA ima nadogradnju koja se naziva HSPA+ koja poboljšava radijske performanse i optimizira prijenos podataka pa se time smanjuje kašnjenje i povećava kapacitet. U potpunosti iskorištava mogućnosti višestrukog pristupa W-CDMA te povećava moguću brzinu prijenosa podataka do 42 Mbit/s za silaznu vezu i 11,5 Mbit/s za uzlaznu vezu [9].

Najveća razlika između 2G i 3G sustava je brzina. Najbrži 2G sustavi mogu ponuditi brzine do 384 kbit/s što je 100 puta manja od teoretske mogućnosti HSPA+. Velika razlika u brzinama proizlazi iz toga što je 2G više orijentiran na prijenos glasa i poruka, dok je 3G usmjeren na pristup Internetu. 3G nudi različite aplikacije svojim korisnicima koje 2G nema (npr. GPS). 3G sustavi su skuplji od 2G sustava jer su oprema i frekvencijski opseg skupi pa zbog toga i korisnici plaćaju više cijene. Postoje razlike i u kvaliteti gdje je 2G lošiji jer koristi različite frekvencije u nižem i višem pojasu, a na njih utječu vremenski uvjeti [10].

2. 5. 4G komunikacijski sustavi

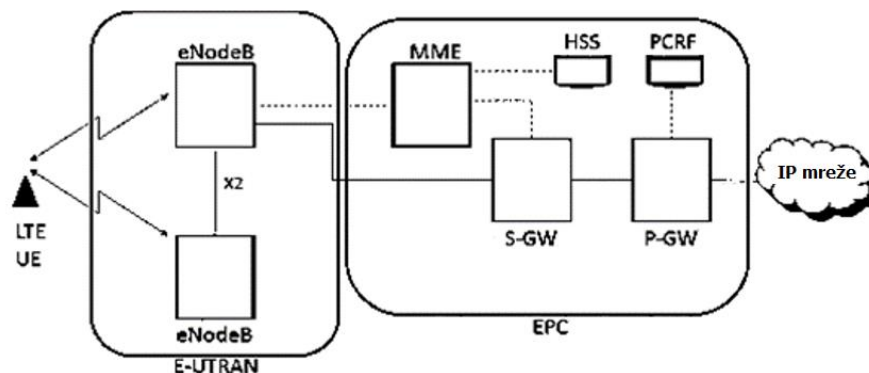
Razvoj novih tehnologija i rastući zahtjevi korisnika glavni su razlozi stvaranja nove generacije mobilnih komunikacijskih sustava. Novu, četvrtu generaciju (4G) mobilnih komunikacijskih sustava karakterizira želja za postizanjem visoke razine korisničkog iskustva, pružanje novih aplikacija uz objedinjavanje postojećih tehnologija. Uz to, pruža veće brzine prijenosa podataka od prošlih generacija i koristi nove metode prijenosa i zaštite podataka.

Prva radionica na temu evolucije 3G sustava održala se 2004. godine. 3GPP grupa je tad postavila polazišnu točku u razvoju LTE (engl. *Long Term Evolution*) tehnologije koji je postao jedan od vodećih standarda četvrte generacije. Sljedećih nekoliko godina se raspravljalo o sustavu i njegovim specifikacijama te su provedene razna istraživanja i testovi. Krajem 2008. godine specifikacije su bile konačno određene. Velik broj mobilnih operatora bio je zainteresiran za LTE jer je predstavljao globalni telekomunikacijski standard, a 2009. godine prvi je put implementiran u Norveškoj i Švedskoj [11].

Drugi rašireni standard je WiMAX koji pripada IEEE 802.16 seriji standarda. Prvi je put implementiran u Južnoj Koreji 2007. godine, a 2008. godine u SAD-u. On se zapravo smatra 3,9G sustavom jer ne zadovoljava sve specifikacije koje je ITU-R (engl. *International Telecommunications Union-Radio*) postavila kao specifikacije za 4G sustave 2008. godine. 3GPP je razvio LTE kao standard koji zadovoljava sljedeće specifikacije: jednostavna i jeftina infrastruktura čija se jezgrena mreža zasniva na IP-u, malo kašnjenje za korisnike (< 10 ms) i na kontrolnom sloju (< 199 ms), brzina prijenosa do 100 Mbit/s u silaznoj vezi i 50 Mbit/s u uzlaznoj vezi i fleksibilnost uporabe različitih frekvencijskih opsega [6].

LTE koristi metodu višestrukog pristupa primjenom frekvencijskog multipleksa ortogonalnih podnositelja (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*, OFDM) s OFDMA (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) u silaznoj vezi te SCFDMA (engl. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi. Za ostvarivanje velikih brzina prijenosa podataka potrebna je i podrška višeantenskih rješenja na baznoj postaji i u terminalima pa se koriste metode višeslojnih prijenosa MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*). Kod OFDM modulacijske tehnike široki se frekvencijski pojas dijeli na više zasebnih podnositelja (engl. *Subchannel*). Zbog toga što kod OFDM sustava samo jedan korisnik može slati podatke preko svih podnositelja u određenom vremenu, OFDMA tehnika je dodatak koji omogućuje da različiti korisnici koriste različite podnositelje u različito vrijeme [11].

LTE mreža prikazana na slici 2.6. sastoji se od evoluiranog paketnog sustava (engl. *Evolved Packet System*, EPS) koji sadrži evoluiranu paketsku jezgenu mrežu (engl. *Evolved Packet Core*, EPC) i evoluirani UMTS (E-UTRAN).



Slika 2.6. Pojednostavljena shema arhitekture LTE mreže [12].

EPC omogućuje pristup prema vanjskim podatkovnim mrežama (npr. Internet) i obavlja sve funkcije vezane za korisnike, a radijska pristupna mreža se naziva E-UTRAN i obavlja radijske funkcije vezane za aktivne korisnike. EPC podržava isključivo paketsku domenu (engl. *Packet Switched*), a tvore ju sljedeći mrežni elementi: entitet upravljanja pokretljivošću (engl. *Mobility Management Entity*, MME), uslužni prilazni čvor (engl. *Serving Gateway*, S-GW), paketski mrežni prilazni čvor (engl. *Packet Data Network Gateway*, P-GW), čvor za upravljanje resursima i terećenjem (engl. *Policy Control and Charging Rules Function*, PCRF) i poslužitelj domaćih pretplatnika (engl. *Home Subscriber Server*, HSS) [11].

MME obavlja funkcije vezane za mobilnost i upravljanje sesijom kao npr. autentifikacija, autorizacija i pozivanje korisnika. P/S-GW su najčešće izvedeni kao softverska nadogradnja GGSN mrežnog elementa. Oni dodjeljuju IP adresu svakom terminalu, kontroliraju i provode QoS. HSS je baza podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima i ostalim parametrima bitnim za pružanje usluga, a PCRF služi za terećenje, autorizaciju i pružanje usluge s obzirom na pretplatu. E-UTRAN, u odnosu na UTRAN, pojednostavljuje mrežu jer uključuje samo evoluirane B čvorove (eNB ili eNodeB) i izostavlja RNC. Zbog izostavljanja RNC elementa dio njegove funkcije je prebačen na S-GW, a dio na eNB. eNB je čvor zaslužan za radijsko odašiljanje i prijem podataka od strane UE-a u jednoj ili više ćelija. On kontrolira resurse u ćeliji i mobilnost, šifrira podatke, raspoređuje korisnike i automatizira rad i nadzor [11].

LTE Advanced je standard koji predstavlja veliko poboljšanje LTE standarda i odobren je 2012. godine. Najvažnije obilježje LTE-A je što omogućuje brzine do 1 Gbit/s. LTE-A je prihvaćen kao standard za 4G ili kako se još naziva IMT Advanced. WiMAX je također dobio svoju 4G kompatibilnu verziju: Mobile WiMAX Release 2. LTE-A i Mobile WiMAX Release 2 smatraju se pravim 4G mrežama, a LTE i WiMAX 3,9 G mrežama zbog neispunjavanja karakteristike 4G mreže koja traži brzine do 1 Gbit/s.

Neke od IMT-A karakteristika su 1 Gbit/s u silaznoj vezi i 500 Mbit/s u uzlaznoj vezi, frekvencijsko područje 70 MHz za silaznu i 40 MHz za uzlaznu vezu, dvostruko veće brzine na rubu ćelije. Usporedba LTE i LTE-A specifikacija može se vidjeti u tablici 2.2. Trenutno dostupne mreže koje se reklamiraju kao 4G sustavi, zapravo ne zadovoljavaju standarde postavljenje za 4G sustave, ali je ITU-R dozvolio da se reklamiraju kao takve iako su LTE.

Tablica 2.2. Karakteristike LTE i LTE-A sustava [13].

| | LTE | LTE-A |
|---|--|---|
| Širina frekvencijskog pojasa | 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz | 70 MHz silazna veza, 40 MHz uzlazna veza |
| Brzina prijenosa podataka (stacionarnog korisnika) | 100 Mbit/s silazna veza, 50 Mbit/s uzlazna veza | 1 Gbit/s silazna veza, 500 Mbit/s uzlazna veza |
| Modulacija | QPSK, 16QAM, 64QAM | QPSK, 16QAM, 64QAM |
| Metoda pristupa | OFDMA i SCFDMA | OFDMA i SCFDMA |

3G zadovoljava većinu korisničkih potreba za Internetom, ali operateri konstantno ulažu u nove tehnologije jer 3G sustavi imaju ograničenja kapaciteta i brzine. Razvoj 4G tehnologije proizašao je iz potrebe za omogućavanjem novih usluga kao što su video razgovori između korisnika ili omogućavanje prijenosa velikih količina podataka, a sve bi usluge trebale biti dostupne konstanto rastućem broju ljudi. 4G sustavi koje operateri reklamiraju kao 4G LTE zapravo ne zadovoljavaju 4G standarde i spadaju pod 3G, ali svejedno predstavljaju poboljšanje u odnosu na starije sustave. U 3G se konstantno ulaže, ali zbog njegovih ograničenja i zbog zahtjeva za povećanjem efikasnosti upotrebe radijskih resursa i sniženjem troškova održavanja teži se novom sustavu.

4G sustavi su brži i efikasniji od 3G, ali postoje i neki problemi. Stariji mobilni uređaji ne podržavaju 4G pa korisnici moraju kupovati nove uređaje ako žele koristiti novi sustav. Postoje različite kategorije podržavanja brzina i samo neki noviji uređaji spadaju u kategorije 6 i 9 koje podržavaju brzine prijenosa podataka do 300 i 450 Mbit/s. Čak i ako korisnik posjeduje uređaj koji podržava 4G brzine, može se dogoditi da područje na kojem živi nije pokriveno 4G signalom što predstavlja još jednu manu novih sustava - slaba pokrivenost.

3. PETA GENERACIJA MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

Svaka nova generacija mobilnih komunikacijskih sustava nastala je zbog želje za poboljšanjem prethodne generacije. Na primjer, prelaskom s 2G na 3G očekivala se mogućnost pristupa širokopojasnom Internetu. Iako je to bilo omogućeno nije ispunilo zahtjeve korisnika. Tek je 3,5G ispunio ta očekivanja i time stvorio digitalni svijet kakav danas poznajemo. S prelaskom na 4G mreže korisnici su dobili veće brzine prijenosa podataka i manje kašnjenje. Ta je promjena opet promijenila način na koji se pristupa Internetu jer je omogućila gledanje videa i video pozive. Mobilni operateri tvrde kako korisnici koji koriste 4G mrežu potroše dvostruko više prometa od onih koji ne koriste upravo zbog tih aplikacija. Trenutno nije u potpunosti jasno koje slabosti 4G ima (tablica 3.1.) i kako bi ih nova generacija mobilnih komunikacijskih sustava trebala popraviti. Istovremeno s razvojem novih tehnologija, postojeće će se tehnologije nastaviti razvijati i poboljšavati.

Peta generacija mobilnih komunikacijskih sustava (5G) nije još konačno definirana ni određena. Zasad postoje samo papiri i dogovori o tome što bi novi sustav trebao raditi i kakve bi karakteristike trebao imati. Komercijalna 5G mreža trenutno ne postoji nigdje na svijetu, ali se izvode razna istraživanja i testovi kojima se želi doći do zaključaka o mogućnosti postojanja sustava koji zadovoljava trenutno postavljene specifikacije.

Tablica 3.1. Zadaće, razlike i slabosti 1G-4G mobilnih komunikacijskih sustava [14].

| Generacija | Primarna zadaća | Razlike u odnosu na prethodnika | Slabosti sustava |
|------------|---|--|--|
| 1G | Analogni telefonski pozivi | Pokretnost | Slaba spektralna efikasnost, sigurnosni problemi |
| 2G | Digitalni telefonski pozivi i SMS | Sigurnost, masovna primjena | Ograničena brzina slanja |
| 3G | Telefonski pozivi, SMS, slanje podataka | Bolje Internet iskustvo | Stvarne brzine prijenosa nisu bile kolike su bile najavljivane |
| 3,5G | Telefonski pozivi, SMS, širokopojasno slanje podataka | Širokopojasni Internet, aplikacije | Vežan uz predhodnike, arhitektura i protokoli |
| 4G | All-IP usluge (glas i poruke) | Brži širokopojasni Internet, manje kašnjenje | ? |

3. 1. Razvoj 5G sustava

Od 2012. godine pokrenut je velik broj inicijativa za stvaranje i definiranje 5G mobilnih sustava. Europske se vlasti trude što više sudjelovati u razvoju 5G-a jer su u prošlosti ostale iza Istočne Azije i Sjeverne Amerike što se tiče razvoja i adaptacije novih sustava. Japan, Južna Koreja i Kina su također jako aktivni. Istovremeno su tvrtke Ericsson, Huawei, NSN i Samsung započele samostalna istraživanja i razvoj nove tehnologije. ITU-R igra glavnu ulogu u upravljanju frekvencijama i satelitskim orbitama, a do sad je upravljao i kriterijima za mobilne komunikacijske mreže (npr. za 4G LTE i WiMAX). 2012. godine pokrenuli su projekt IMT-2020 kojim su započela istraživanja usmjerena na mobilne sustave pete generacije. NGMN (engl. *Next Generation Mobile Networks*) je forum kojim je pristupilo više od 20 mobilnih operatera i različitih kompanija koje pripadaju raznim granama telekomunikacijske industrije [14].

Izvan Europe, većina se istraživanja provodi u Istočnoj Aziji gdje predvode, kao i uvijek do sada, Japan, Južna Koreja i Kina. Svaka od tih država zasebno razvija svoj sustav. Svi uglavnom najavljuju komercijalno dostupne 5G sustave do 2020. godine, a SK Telekom iz Južne Koreje je potpisao ugovor sa Ericssonom u kojem se obvezuju na stvaranje 5G sustava do 2018. godine na vrijeme za zimske Olimpijske igre u Pyeongchangu. Početkom 2016. godine započeli su s terenskim testovima. Svaka se godine održava svjetska radio-komunikacijska konferencija (engl. *World Radiocommunication Conference*, WRC) gdje se raspravlja o radio frekvencijama i njihovoj upotrebi, a održava se i svjetski mobilni kongres (engl. *Mobile World Congress*) na kojemu se prezentiraju nove mobilne tehnologije i uređaji [14].

Prema [15] ABI Research je na temelju razvoja dosadašnjih generacija napravio predviđanja za 5G sustave. Predviđa se kako će Sjeverna Amerika, Pacifička Azija i Zapadna Europa biti predvodnici 5G tržišta. Na temelju dosadašnjeg porasta podatkovnog prometa, ali i zakonitosti da s povećanjem dostupne brzine raste i količina prometa, smatraju da će se količina prometa pretplatnika 5G sustava povećati pet puta u odnosu na 3G i 4G pretplatnike. Na temelju svojih proračuna zaključili su kako bi prihodi mobilnih operatera od korisnika 5G sustava do 2025. godine mogli iznositi 247 milijardi američkih dolara u cijelom svijetu. Prema [16] smatra se da će godišnji prihodi za 2025. godinu od 5G sustava iznositi 65 milijardi američkih dolara i predstavljati 7% ukupnih prihoda operatera u svijetu. Tokom prve godine javno dostupne mreže (2020. godina) taj bi broj mogao biti 100 milijuna američkih dolara. Također predviđaju da će se od 2015. do 2020. godine u istraživanje, razvoj i testiranje sustava uložiti 25 milijardi dolara.

Između 2011. i 2015. godine operateri su uložili 880 milijardi dolara u poboljšanje i razvoj svojih mreža. 2015. godine mobilna je industrija generirala 4,2% svjetskog bruto domaćeg proizvoda što iznosi oko 3,1 bilijuna dolara. Od toga su s više od 430 milijardi dolara plaćeni porezi, a s 90 milijardi spektri. Smatra se da će uplaćeni porez do 2020. godine narasti na 480 milijardi dolara. Prema tome, ulaganja u istraživanje, razvoj i testiranja 5G sustava nisu novost i sve veće tvrtke imaju takve troškove. Ni ulaganja u razvoj infrastrukture također ne predstavljaju neku novinu. S pojavom nove generacije ulaganja se povećaju, ali s njima i prihodi. Na temelju tih predviđanja može se zaključiti da bi 5G u prvih pet godina postojanja trebao generirati dovoljno velika primanja kako bi se investicija mogla isplatiti [17].

3. 2. Specifikacije 5G sustava

Krajem 2015. godine postojalo je 4,7 milijardi jedinstvenih mobilnih korisnika u svijetu što čini 63% ukupne svjetske populacije. Predviđa se da će broj korisnika širokopojsnog pristupa Internetu porasti sa 47% u 2015. godini na 71% do 2020. godine, a količina prometa se povećati za 49% u periodu od 2015. do 2020. godine. Potrebno je unaprijediti postojeću tehnologiju i razviti nove tehnologije koje mogu držati korak s potražnjom [17].

5G ne predstavlja samo evoluciju mobilne širokopojsne mreže, nego će donijeti jedinstvene mrežne mogućnosti i usluge. Pružiti će poboljšanje performansi kapaciteta, kašnjenja, mobilnosti, pozicioniranja, povećanja stabilnosti i dostupnosti. Trebao bi omogućiti pristup Internetu bilo gdje neovisno o visokoj mobilnosti, vrlo gustoj populaciji ili putovanju kroz ćelije. Time bi omogućio stvaranje platforme za povezivanje velikog broja senzora i uređaja s minimalnim utroškom energije i stabilnom vezom, odnosno bio bi podloga za Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT). Time bi se omogućile nove aplikacije kao što su autonomni automobili ili daljinsko upravljanje robotima.

5G infrastruktura će biti efikasnija. Ujedit će mrežne, računalne i memorijske resurse u jednu programljivu i ujedinjenu strukturu. To će ujedinjenje omogućiti softverske rekonfiguracije kojima će se moći dinamički mijenjati funkcionalnosti uređaja, a time se i sniziti troškovi opreme. Poboljšana spektralna efikasnost omogućit će 5G sustavima konzumaciju samo djelića energije koju 4G sustavi potroše kako bi dostavili istu količinu podataka [18].

Prema [14] postoje dvije vizije o tome što bi 5G mogao omogućiti: hiper-povezanost i nove tehnologije radijskog pristupa. Hiper-povezanost označava mogućnost visoke pokrivenosti i dostupnosti mreže. Ključna razlika novog i starih sustava je bolja veza koja će omogućiti IoT. Ta vizija uključuje i nove radijske tehnologije koje će omogućiti produljenje trajanja života baterije. Tehnologija nove generacije radijskog pristupa je tradicionalniji način podjele generacija i odnosi se na konkretne promjene u brzinama prijenosa i kašnjenju.

Oba su pogleda važna za napredak industrije i uglavnom se spajaju pa zahtjevi za novu generaciju postaju i hiper-povezanost i nove tehnologije radijskog pristupa. Tu nastaje problem jer se dodaju neki novi zahtjevi koji nemaju veze sa tradicionalnim definiranjem nove generacije mobilnih komunikacijskih sustava. Kao rezultat stvara se osam konkretnih karakteristika koje se traže od sustava nove generacije:

- brzina prijenosa 1-10 Gbit/s do ruba ćelije
- ≤ 1 ms kašnjenje
- 1000x širina pojasa po jedinici površine = 1 Tbit/s/km²
- 10-100x spojenih uređaja
- 99,999% dostupnost
- 100% pokrivenost
- 90% smanjenja korištenja energije u mreži u odnosu na 2010. godinu
- trajanje baterije do 10 godina za niskonaponske uređaje

Teško će se razviti nova tehnologija koja će istovremeno zadovoljavati sve zahtjeve, a ni ne postoji slučaj uporabe ili aplikacija za koje će biti potrebno istovremeno ispunjavanje svih osam uvjeta preko cijele mreže. Prva dva uvjeta spadaju pod nove tehnologije radijskog pristupa, a ostalih šest pod hiper-povezanost. Tih šest zahtjeva nisu karakteristike koje definiraju generaciju.

Dostupnost od 99,999% i 100% geografska pokrivenost nisu slučajevi upotrebe niti tehnički problemi nego su ekonomske i poslovne odluke. Ti se zahtjevi mogu zadovoljiti s bilo kojom postojećom tehnologijom i od bilo kojeg mobilnog operatera. Operateri odlučuju gdje će smjestiti ćelije u ovisnosti o cijeni ulaganja i dobiti.

Smanjenje korištenja energije u mreži i poboljšanje trajanja baterije bitne su promjene za ekonomsku i ekološku održivost industrije, ali ideja o smanjenju korištenja energije u terminalima i mreži bi se trebala protezati kroz sve generacije. Te su promjene bitne zbog ekološkog učinka i zbog operativnih troškova povezanih s održavanjem mreže, ali nije jasno kako bi nova generacija trebala smanjiti potrošnju energije kad bi trebala naslijediti dosadašnje generacije koje to ne čine. Neke uporabe IoT-a zahtijevaju uređaje koji mogu mirovati duže vremensko razdoblje pa je bitan način kako će ti uređaji trošiti energiju kad postanu aktivni i povezani u mrežu.

Te se karakteristike trebaju razvijati i razvijaju se koristeći razne tehnologije, ali one ne predstavljaju poboljšanje nove generacije mreža nego ekonomsku isplativost. Da bi tako zamišljen sustav mobilnih komunikacija postao izvediv u idućih pet do deset godina, pred istraživačima se nalaze brojni tehnološki izazovi koje moraju riješiti.

Najzahtjevnija specifikacija koju je potrebno zadovoljiti je kašnjenje manje od 1 ms. Postizanje tako malog kašnjenja zahtjeva novu strukturu mreže i tražit će investicije u infrastrukturu. Unatoč napretku brzine procesora i ukupnog kašnjenja u mreži između danas i 2020. godine, brzina kojom signal može putovati kroz zrak određena je zakonima fizike. Zbog toga korisnik koji zahtjeva kašnjenje manje od 1 milisekunde mora biti poslužen s bliže od 1 kilometar udaljenosti. Zbog tog će se zahtjeva morati stvoriti puno malih ćelija. Postoji mogućnost da će se ovaj zahtjev pomaknuti na 5 ms jer zahtjeva velika ulaganja u infrastrukturu. Ako se to dogodi, mnoge će aplikacije koje su se očekivale s 5G postati neizvjesne [14].

Jedan od većih izazova je osiguranje nesmetane interoperabilnost između nekoliko tipova mobilnih pristupnih mreža. Pojednostavljenjem mrežne infrastrukture smanjit će se i količina signalizacijskih linkova koji troše ograničene prijenosne resurse, a jedno od mogućih rješenja je jedinstvena mrežna infrastruktura koju bi prihvatili i koristili svi operateri. Takav bi model smanjio troškove ulaganja, ali bi i narušio nadmetanje među operaterima.

3. 3. Mrežna arhitektura i tehnologija 5G sustava

Trenutno ne postoji gotov primjer 5G sustava o kojem se može raspravljati i čija se arhitektura može detaljno proučiti. Postoje samo dokumenti koji pretpostavljaju ili predlažu kako bi novi sustav trebao izgledati, funkcionirati i koje bi tehnologije trebao koristiti. Dalje u tekstu će biti objašnjene neke od mogućih tehnologija kojima bi se mogli realizirati 5G sustavi.

Povećanje brzine zapravo nije najrevolucionarnija karakteristika 5G-a. Prava se vrijednost nalazi u tehnologijama koja će proizaći iz principa rada virtualizacije mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualisation*, NFV) i softverski definiranih mreža (engl. *Software Defined Networks*, SDN). Ponekad se 5G termin koristi kako bi se jednom riječju objedinile te tehnologije, ali to nije točno jer te tehnologije omogućuju razvoj trenutnih mreža prema 5G sustavima. NFV i SDN se razvijaju neovisno o 5G sustavima, ali će imati utjecaj na rad sustava.

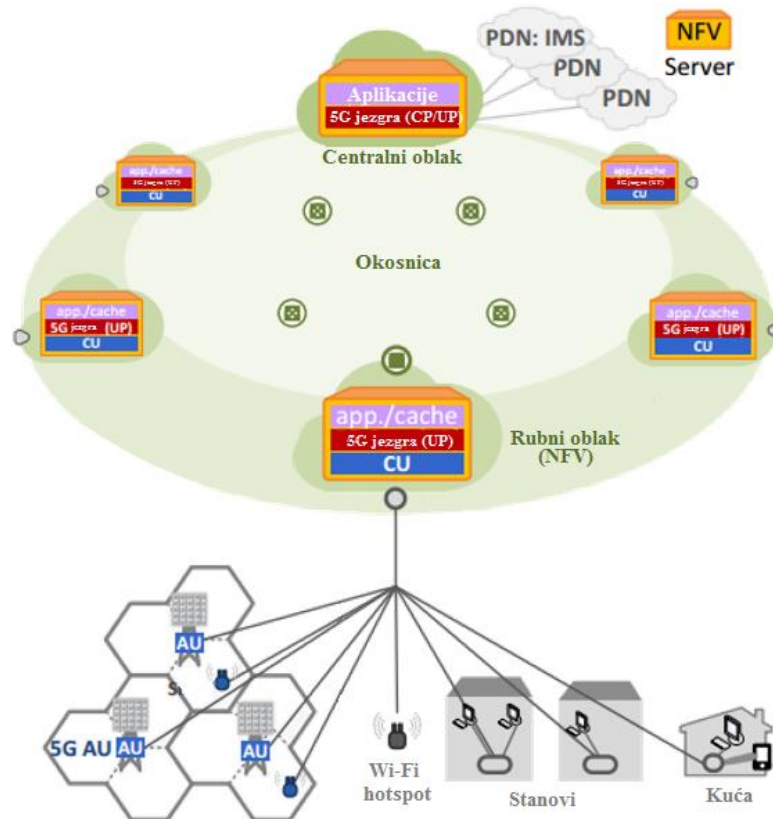
NFV je koncept mrežne arhitekture koji omogućuje odvajanje softvera od hardvera. Postalo je moguće zbog povećanja performansi komercijalno dostupnih platformi. Omogućuje stvaranje mrežnih funkcija softverski i u oblaku (engl. *cloud*), bez potrebe za ugradnjom novog hardvera. To omogućuje skalabilnost koja podupire dostavljanje usluga na zahtjev. Najznačajnija korist NFV-a je fleksibilnost izvršavanja mrežnih funkcija neovisno o lokaciji pa one nisu više vezane za određenu lokaciju ili čvor [9], [14].

SDN je produžetak NFV-a kojim se omogućuje softverska dinamička rekonfiguracija topologije mreže i time se mreža može prilagoditi potražnji, odnosno omogućuje se preusmjeravanje dostupnih kapaciteta gdje je potrebno. Korist SDN-a je u njegovoj mogućnosti da fizičku infrastrukturu prikaže apstraktno, a tim se pojednostavljuje upravljanje mrežom.

SDN, NFV i tehnologija oblaka omogućuju razdvajanje mreže od fizičke arhitekture pa mreža postaje programljiva. To omogućuje dijeljenje mreže (engl. *network slicing*) na logičke cjeline zadužene za određene usluge. Dijeljenje mreže označava pružanje različitih softverski definiranih usluga (koje upravljaju geografskom pokrivenošću, trajanjem, kapacitetom, brzinom, kašnjenjem, sigurnošću i dostupnošću mreže) koje se nalaze na jednoj fizičkoj infrastrukturi. Iz toga proizlazi da jedna fizička mreža može pružati više različitih usluga na optimalan način [14], [19].

Trenutno operateri nadograđuju i mijenjaju svoje LTE sustave koristeći SDN i NFV jer oni donose mnoge prednosti u odnosu na dosadašnje sustave. Neke od prednosti nadogradnje su smanjenje kapitalnih i operativnih troškova zbog manjeg troška opreme i energije. Buduće nadogradnje sustava bi trebala trajati kraće, predstavljati manji rizik i pružati veću fleksibilnost pri uvođenju ili gašenju servisa u sustavu.

Južna Koreja planira završiti i omogućiti komercijalni pristup 5G mreži do 2018. godine pa postoje neke naznake kako bi njihova mreža trebala izgledati. Slika 3.1. prikazuje arhitekturu 5G mreže koju je KT korporacija (bivši Korea Telecom) do sad podijelila s javnošću.



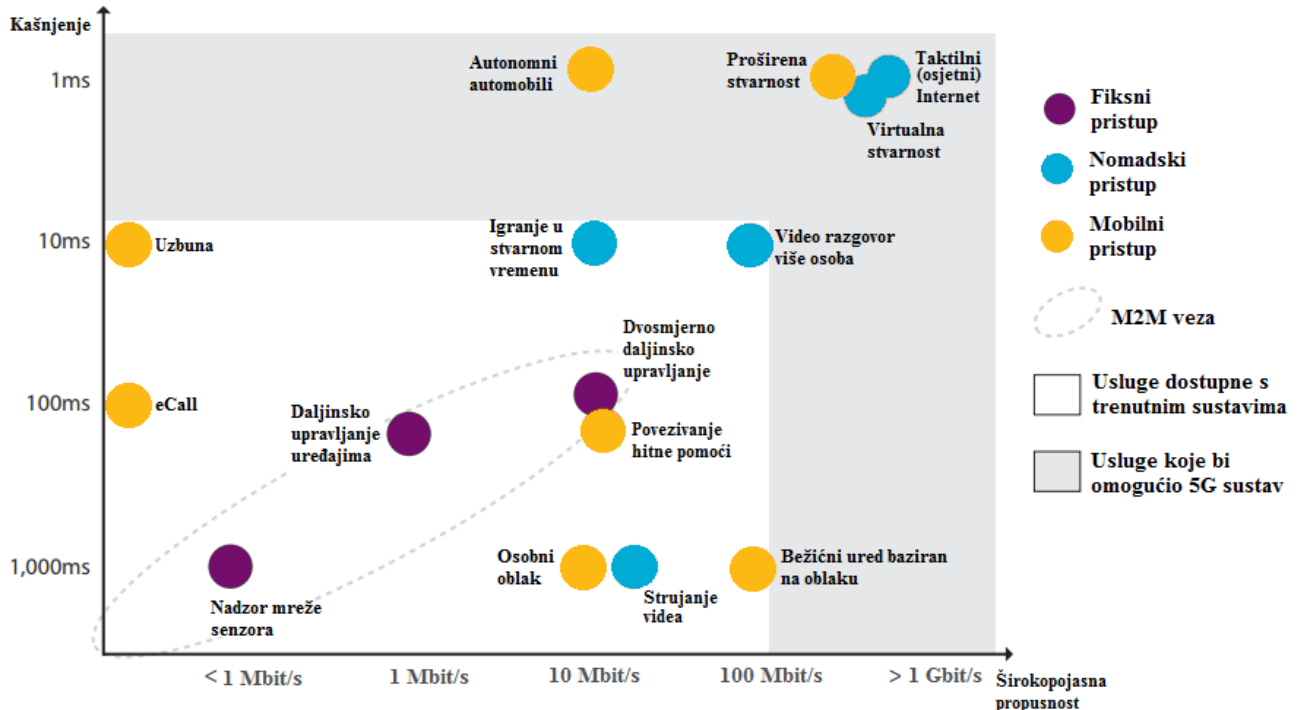
Slika 3.1. Arhitektura 5G mreže prema KT [20].

Prema [20] 4G LTE mreža se može podijeliti na dva dijela, eNB (RAN) i jezgrenu mrežu (S/G-PW i MME). U dosadašnjim sustavima jezgrena je mreža bila zadužena za mobilnost, autentifikaciju korisnika i naplaćivanje prometa pa je sav promet morao proći kroz nju. Plan KT-a je raspodijeliti glavne jezgrene čvorove u više malih koji bi se nalazili diljem zemlje. 5G jezgra (engl. *Mobile Core Unit*, MCU) je podijeljena na korisnički sloj MCU-UP (engl. *MCU - User Plane*) i upravljački sloj MCU-CP (engl. *MCU - Control Plane*) gdje je MCU-UP nositelj dostave, a MCU-CP upravlja kontrolnim funkcijama. MCU-CP će biti instaliran u centralnom oblaku, a MCU-UP u raspodijeljenim čvorovima na rubnom oblaku i u centralnom oblaku. Ta će se raspodjela napraviti zbog zahtjeva za malim kašnjenjem, a da bi se to postiglo potrebno je poslužiti korisnika s bliske udaljenosti.

C-RAN (engl. *cloud-RAN*) arhitektura još nije definirana i KT ima nekoliko mogućnosti koje razmatra. Najvjerojatnija opcija je promjena funkcije digitalne jedinice (engl. *Digital Unit*, DU) i radijske jedinice (engl. *Radio Unit*, RU). RU je do sada služio kao pretvarač korisničkih informacija u signal pogodan za prijenos pomoću elektromagnetskih valova, a DU za obavljanje procesiranja u osnovnom pojasu, distribuciju sinkronizacijskog signala, procesiranje kontrolnih informacija, međupovezivanje RU i kao sučelje za nadzor. KT želi procesiranje u osnovnom pojasu prebaciti s DU na bazne stanice. Zbog te se promjene mijenjaju i nazivi pa će umjesto DU i RU postojati oblak jedinica (engl. *Cloud Unit*, CU) i pristupna jedinica (engl. *Access Unit*, AU). CU će biti instaliran na rubnom oblaku kao virtualni softver, a AU će biti u baznoj postaji kao hardver [20].

3. 4. Uporaba 5G sustava

Sa svakom novom generacijom komunikacijskih sustava dolaze novi načini primjene o kojima zapravo najviše ovisi koliko će vremena biti potrebno kako bi se novi sustav prihvatio i ušao u široku upotrebu. Stoga je bitno upitati se što bi 5G donio, a da do sad nije bilo moguće i može li to biti profitabilno. Slika 3.2. pokazuje zahtjeve različitih slučajeva uporabe u ovisnosti o kašnjenju i brzini prijenosa podataka. Posebno su označeni slučajevi koje bi 5G omogućio.



Slika 3.2. Potencijalne uporabe 5G sustava [14].

Zahtjevi za komunikaciju među uređajima (engl. *Machine Type Communication*, MTC) poprilično variraju. Prema [19] postoje masovni i kritični MTC. Slučajevi uporabe masovnog MTC su automatizacija infrastrukture, inteligentna agrokultura, logistika i praćenje. Ono zahtjeva jednostavne uređaje, baterije dugog životnog vijeka, široki opseg prijenosa podataka, promjenjiva mreža koja se može povezati s malim ili velikim brojem uređaja. Kritični MTC je tip komunikacije koji se odvija u stvarnom vremenu i zahtjeva minimalno kašnjenje i maksimalnu pouzdanost.

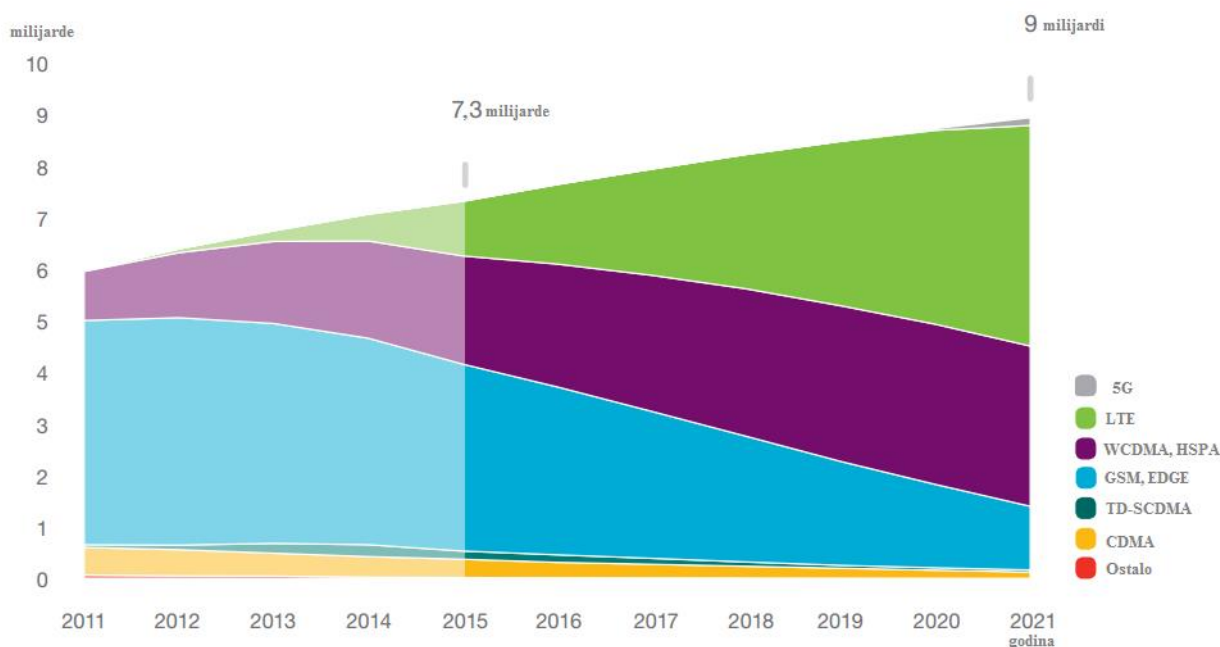
Virtualna stvarnost, proširena stvarnost i taktilni Internet su tehnologije koje imaju potencijalnu primjenu za zabavu (npr. *gaming*), ali i praktičnu primjenu kao što su medicina ili proizvodnja. Na primjer, mogle bi se izvoditi operacije na daljinu za što ni jedan postojeći komunikacijski sustav nije dovoljno pouzdan. Buduće 5G mreže bi mogle omogućiti daljinsko upravljanje teškim strojevima. Korist ovog slučaja uporabe je što omogućuje uklanjanje ljudi s opasnih poslova. U tim je slučajevima ključna mogućnost prijenosa videa visoke kvalitete, zvuka i ostalih informacija sa senzora do kontrolora velikom brzinom i s minimalnim (skoro nepostojećim) kašnjenjem [14].

Omogućavanje automobilima da komuniciraju s okolinom bi moglo rezultirati sigurnijim i efikasnijim prometom. Autonomni bi automobili smanjili mogućnost ljudske pogreške i omogućili brže putovanje. Ono bi postalo sigurnije jer bi automobili mogli međusobno komunicirati i znati što očekivati od ostalih sudionika u prometu. Takav sustav ne zahtjeva veliku brzinu prijenosa podataka, ali je minimalno kašnjenje nužno zbog sigurnosti. Uz minimalno kašnjenje, trebao bi biti zadovoljen i kriterij 100% pokrivenosti kako bi automobili mogli biti u potpunosti autonomni na bilo kojem području.

Jedna od funkcija koje bi postale raširenije je eCall. To je sustav ugrađen u automobil koji u slučaju nesreće automatski poziva hitnu službu. Komunikacija među uređajima (engl. *Machine to Machine*, M2M) moguća je i na postojećoj mreži. Predviđa se da će broj uređaja povezan na taj način porasti sa 250 milijuna na jednu do dvije milijarde do 2020. godine. Neke od trenutnih primjena M2M su pametne kuće koje imaju različite pametne senzore (termometar, detektor dima) ili uređaji koji nadziru zdravstveno stanje korisnika. Većina M2M komunikacije šalje male količine podataka, a brzina kojom se ti podaci šalju kao ni kašnjenje nisu od velike važnosti [14]. Slanje videa će postati značajnije nego što je danas jer će profesionalni i osobni sadržaji biti sve više slani s mobilnih telefona. Kamere i nosiva tehnologija će imati mogućnost povezivanja s Internetom što će omogućiti konstantno slanja podataka. Video bi mogao postati pomagalo hitnim službama (policija, hitna pomoć, vatrogasci) te omogućiti civilnu zaštitu i efikasnije upravljanje kriznim situacijama [19].

4. TRENUTNO STANJE NA TRŽIŠTU MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

Broj mobilnih korisnika u svijetu raste za oko 3% godišnje. Indija je najviše pridonijela tome u prvom kvartalu 2016. godine (+21 milijun), a nakon nje Mjanmar (+5 milijuna), Indonezija (+5 milijuna), SAD (+3 milijuna) i Pakistan (+3 milijuna). Broj prodanih pametnih mobitela je porastao sa 75% u 2015. na 80% u prvom kvartalu 2016. godine, ali je oko 45% mobilnih pretplata vezano za pametne telefone. Bitno je naglasiti da je broj pretplata nadmašio broj pretplatnika (korisnika) u mnogim državama svijeta. Razlog tome je što korisnici posjeduju nekoliko uređaja, ali i zbog optimizacije pretplate za različite usluge. To znači da je broj stvarnih korisnika manji od broja pretplata. Danas (slika 4.1.) postoji oko 5 milijardi korisnika, a 7,4 milijarde pretplata od kojih je 3,7 pretplata na 3G i LTE [21].

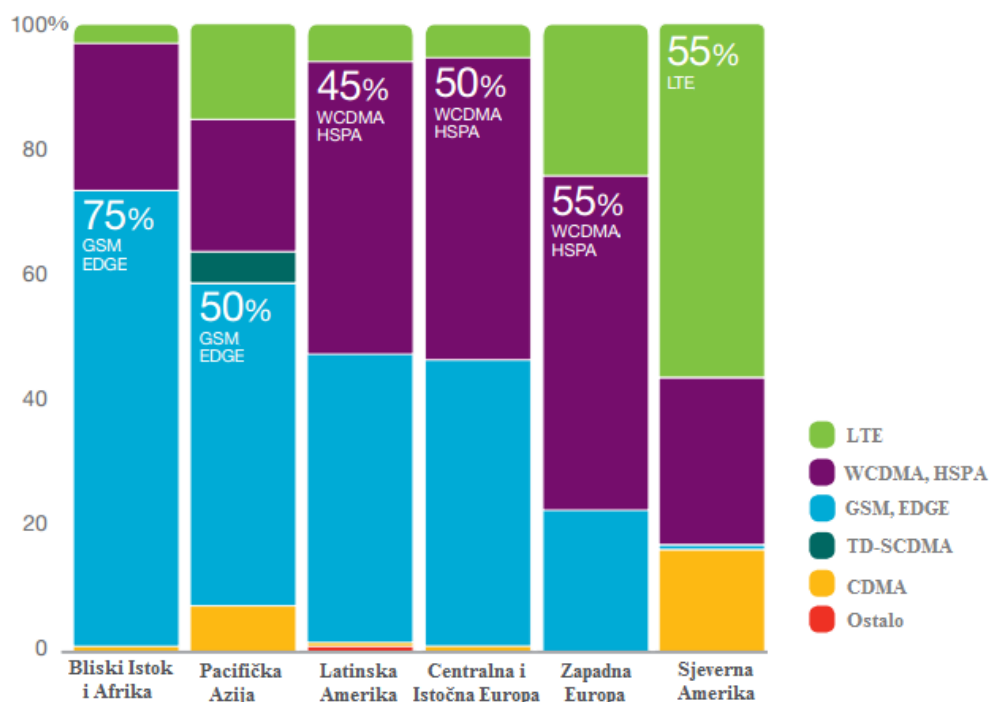


Slika 4.1. Mobilne pretplate po tehnologiji [21].

4. 1. Svjetsko tržište

Ubrzan razvoj i primjena LTE sustava predstavlja jedno od velikih postignuća mobilnih operatera. Broj korisnika LTE sustava prešao je jednu milijardu, a LTE mreža je dostupna u 151 zemlji svijeta. 3G mreže bilježe povećanje od oko 30 milijuna novih pretplata u prvom kvartalu 2016. godine. Većina 3G/LTE mreža podupire i GSM/EDGE, ali je broj pretplatnika na samo te mreže pao za 70 milijuna u prvom kvartalu 2016. godine. Kao što je prikazano na slici 4.1., može se primijetiti trend tehnološkog pomaka sustava u cijelom svijetu. Razlozi pomaka prema novijim sustavima su dostupnost pametnih mobilnih uređaja i rastuća pokrivenost mrežom. Predviđa se da će do 2021. godine postojati već 150 milijuna korisnika 5G mreže od kojih će većina biti iz Sjeverne Amerike i Pacifičke Azije.

Postoje velike razlike u broju pretplatnika mobilnog širokopojasnog pristupa (3G i LTE) između zemalja u razvoju i zapadnih zemalja. U zapadnim je zemljama postotak pretplatnika širokopojasnog pristupa veći od 80%, a u zemljama u razvoju u prosjeku oko 40%. Unatoč impresivnom napretku, još uvijek postoji velika razlika u razvijajućim zemljama. Slika 4.2. prikazuje zastupljenost sustava u svijetu. Do kraja desetljeća više od 40% populacije neće imati dostupan pristup Internetu.



Slika 4.2. Mobilne pretplate po regiji i tehnologiji [21].

U Pacifičkoj Aziji LTE se sve više širi, a pogotovo u Kini gdje je porast veći nego u Europi ili Sjevernoj Americi. Mobilne pretplate u Sjevernoj Americi i Zapadnoj Europi su uglavnom WCDMA/GSM i LTE što je prikazano na slici 4.2. LTE se brzo razvija u Sjevernoj Americi, Japanu i Južnoj Koreji gdje predstavlja većinski dio pretplate. Centralna i Istočna Europa povećava broj korisnika WCDMA/GSM-a, a razvijenije države šire LTE mrežu. U Pacifičkoj Aziji, Latinskoj Americi i Srednjem Istoku većinski su zatupljeni GSM/EDGE. GSM/EDGE sustavi će ostati najrašireniji na Bliskom Istoku i Africi. U Subsaharskoj Africi GSM/EDGE će ostati prevladavajuća mreža i do 2020. godine zbog siromašnog stanovništva koji uglavnom koriste 2G mobilne uređaje, LTE je u ranom stadiju razvoja [17], [21].

Očekuje se da će do 2020. godine prvi javni 5G sustavi biti dostupni u Japanu, Južnoj Koreji i SAD-u. Razvoj 5G sustava je poticaj za ulaganja i investicije u cijelom telekomunikacijskom sektoru. Po cijelom se svijetu mogu primijetiti sve veća ulaganja mobilnih operatera i proizvođača mobilne opreme (AT&T, China Unicom, SK, Ericsson, Nokia, Huawei itd.) u razvoj novih sustava. Sustavi se trenutno testiraju kako bi se došlo do zaključaka o izvedivosti zahtjeva [21].

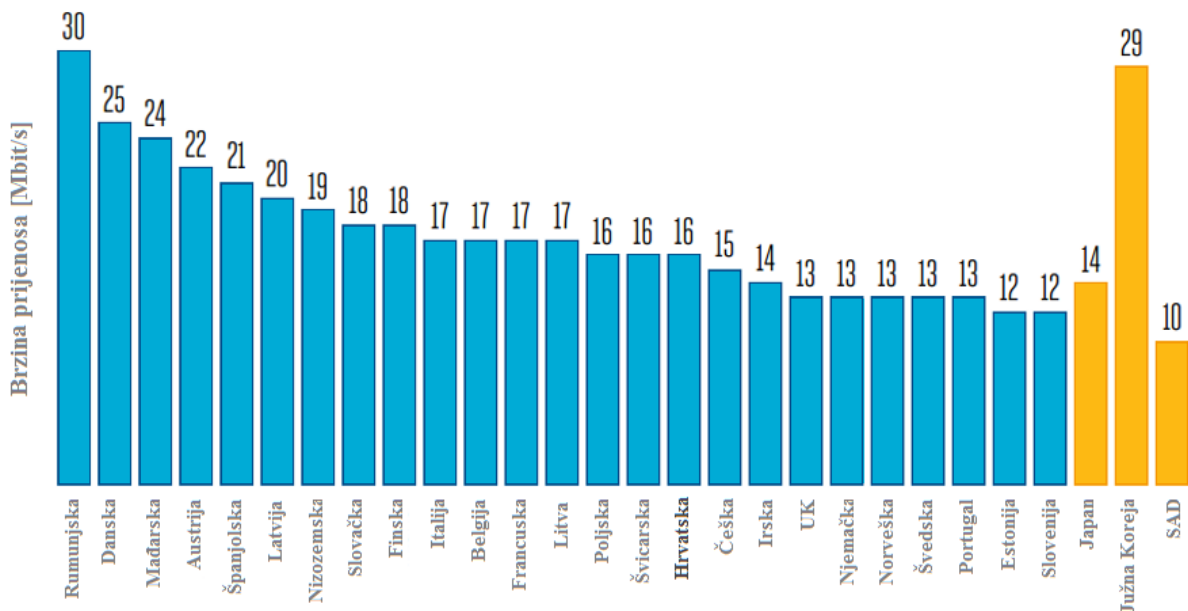
Kao dio evolucije prema 5G sustavima i kao napredak postojećih LTE mreža, Ericsson lansira novi Ericsson Radio System softver i hardver koji bi prvi u svijetu trebao korisnicima ponuditi LTE brzinu do 1 Gbit/s krajem 2016. godine. Uz to potpisuju i ugovore s mnogim državama kao dio njihove misije za unaprjeđenje svjetske mobilne mreže [22].

AT&T se udružio s Ericssonom u razvoju 5G mreže. AT&T planira do kraja 2016. godine izvoditi testiranja izvan laboratorija u kojima su do sad imali velike uspjehe. Dostigli su brzine i do nekoliko Gbit/s i kašnjenje od 1 do 5 ms. Javna će se testiranja izvoditi u nekoliko američkih gradova, a trenutni se sustavi virtualiziraju SDN i NFV tehnologijama. Očekuju da će biti spremni lansirati novi sustav kad standard za 5G bude postavljen 2018. godine [23].

4. 2. Europsko tržište

Pokrivenost 4G (LTE) mrežom prešla je 80% Europske populacije i očekuje se da će tokom 2016. godine prijeći 90%. Povećanje pokrivenosti, veći broj dostupnih uređaja po različitim cijenama i sve veća ponuda usluga strujanja glazbe i videa uzrokovali su brzo prihvaćanje 4G sustava. Zbog velike pokrivenosti 4G mrežom podatkovni promet se povećava u cijeloj Europi. Prosječna osobna potrošnja 2014. godine bila je 1 GB mjesečno, a smatra se da će do 2019. narasti na 6 GB. Postoji jasna korelacija između 4G sustava i podatkovnog prometa. Telefonica (Španjolski operater) tvrdi kako korisnici 4G sustava troše 60% više prometa nego korisnici 3G sustava. Slične podatke ima i Vodafone koji vidi dvostruko veću potrošnju kod korisnika 4G mreže. Operateri i potiču povećanje prometa tako što svojim korisnicima promotivno nude usluge za strujanje glazbe i videa besplatno (usluge tipa Netflix i Spotify) [24].

Omogućavanje velike količine podatkovnog prometa, velike brzine i široke pokrivenosti čini korisnike zadovoljnijima uslugom. Prosječne silazne brzine LTE mreže Europskih država mogu se vidjeti na slici 4.3. Prosječne brzine u silaznoj vezi preteču čak i neka najrazvijenija tržišta u svijetu kao što su Japan i SAD. Najbržu LTE mrežu ima Rumunjska, a nakon nje Danska i Mađarska. Hrvatska se svojom najvećom brzinom od 16 Mbit/s nalazi u donjoj sredini zajedno sa Švicarskom i Poljskom.

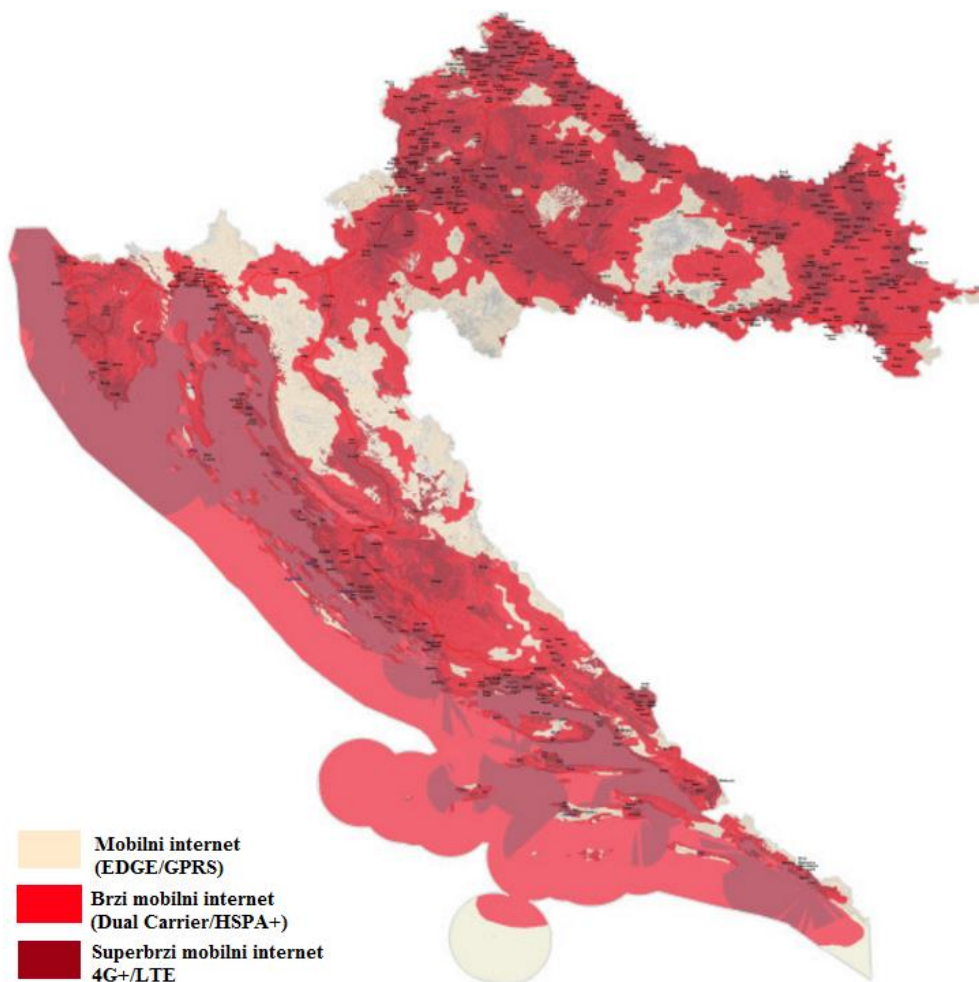


Slika 4.3. Brzine prijenosa podataka u Europi i drugim regijama [24].

Operateri, proizvođači opreme i ostali sudionici u razvoju telekomunikacijskih sustava imat će veliku ulogu u razvoju sljedećeg sustava. Europska komisija želi staviti Europu na vrh razvoja i pokretanja 5G sustava pa zbog toga sudjeluje sa 700 milijuna eura u financiranju istraživanja kroz Horizon2020 program, a EU industrija dodaje još 3 milijarde eura. Potpisali su ugovore o suradnji s raznim državama kako bi se razvoj ubrzao [24], [25].

4. 3. Tržište Republike Hrvatske

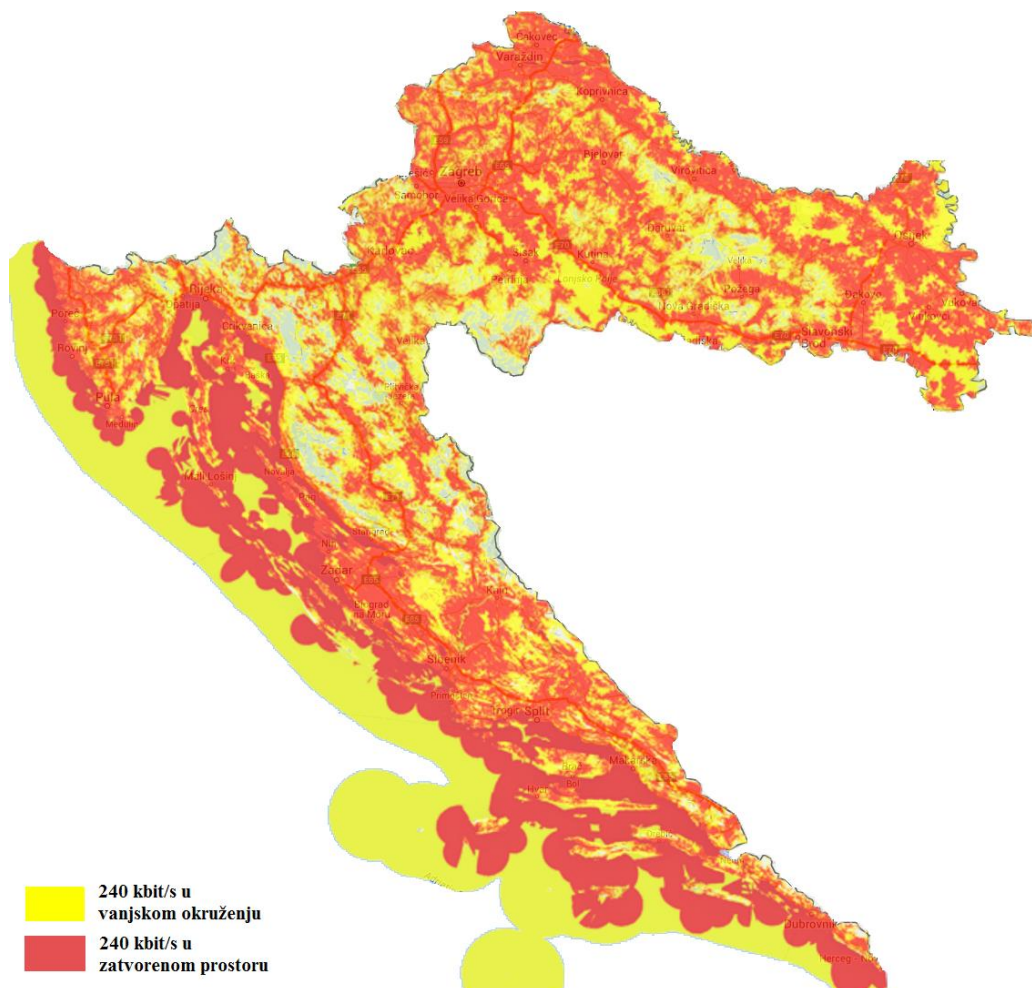
U Republici Hrvatskoj postoji nekoliko konkurentskih mobilnih operatera koji pružaju različite usluge. Najveći su operateri Hrvatski Telekom (HT) i Vipnet. HT prema [26] ima 2,2 milijuna korisnika pokretne mreže, a 7,2 tisuća korisnika širokopoasnog Interneta. Vipnet ima ukupan broj korisnika u mobilnom segmentu 1,73 milijuna [27]. Garantiraju pokrivenost kakva je prikazana na slici 4.4. [27].



Slika 4.4. Karta pokrivenosti tvrtke Vipnet [27].

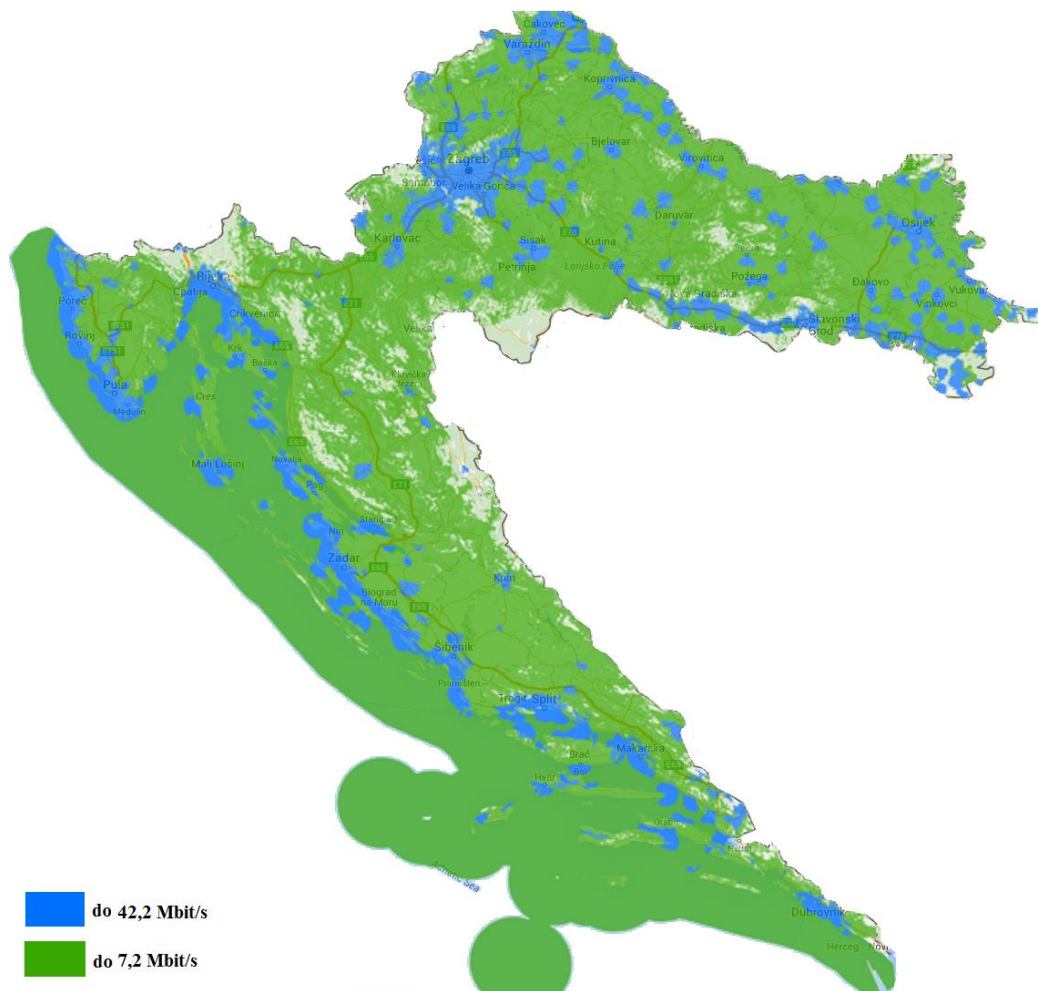
Pokrivenost 3G signalom (svijetlo crveno) veća je od 90%, a 2G signalom 99% teritorija. 3G mreža u cijelom području pokrivanja podržava brzine do 21Mbit/s. Uz HSPA+, većina Vipnetovih odašiljača omogućuje i DC-HSPA tehnologiju koja na 3G mreži omogućuje brzine do 42 Mbit/s. Vipnetova 4G+/ LTE mreža s brzinom prijenosa podataka do 225 Mbit/s dostupna je u većim gradovima. Pristup mobilnom internetu putem 3G i 4G mreže danas dominira s obzirom na uređaje koje korisnici posjeduju. Vipnet je krajem 2015. godine kupio dodatni radiofrekvencijski spektar koji omogućuje razvoj njihove 4G+/LTE mreže, ali i predstavlja ulaganje u 5G kao tehnologije budućnosti.

Na slici 4.5. prikazana je pokrivenost teritorija HT-ovom 2G mrežom. Crvena boja označava dostupnost brzine prijenosa u zatvorenom prostoru, a žuta brzinu prijenosa do 240 kbit/s u vanjskom okruženju.



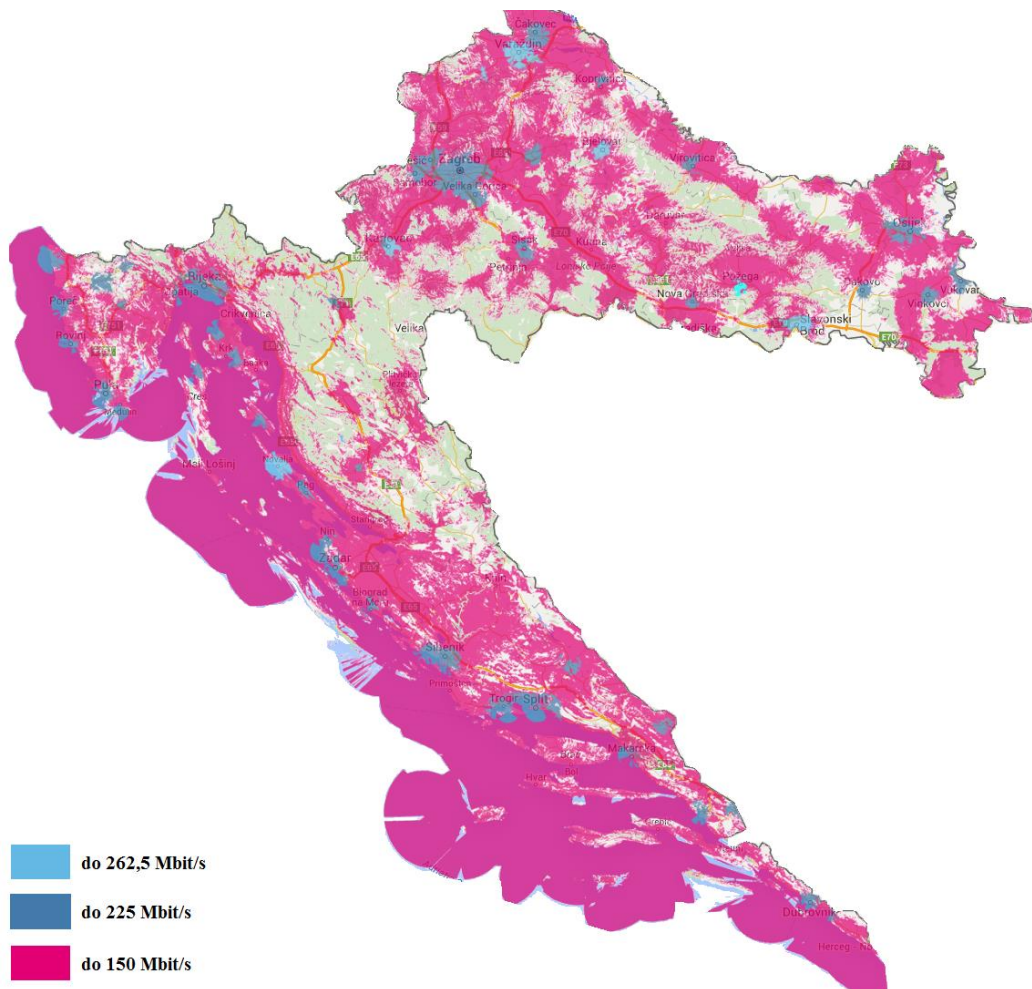
Slika 4.5. Karta pokrivenosti 2G mrežom tvrtke HT [28].

Slika 4.6. prikazuje 3G dostupnost gdje zelena boja označava dostupne brzine do 7,2 Mbit/s, a plava 42,2 Mbit/s. Vidi se da su veće brzine dostupne u većim gradovima i uz prometne državne ceste.



Slika 4.6. Karta pokrivenosti 3G mrežom tvrtke HT [28].

Slika 4.7. prikazuje trenutno najbržu dostupnu mrežu (4G LTE) , koja je vidno slabije zastupljena od prethodne dvije. Ružičastom je bojom označena brzina do 150 Mbit/s, tamnoplavom 225 Mbit/s, a svijetloplavom najveća dostupna brzina u Hrvatskoj do 262,5 Mbit/s.



Slika 4.7. Karta pokrivenosti LTE 4G mrežom tvrtke HT[28].

HT je sve svoje usluge i korisnike prebacio u ALL-IP mrežno okruženje. Pokrivenost populacije 4G mrežom u zatvorenom prostoru 2015. godine obuhvaća 65% populacije. Pokrivenost populacije na otvorenom je 2015 godine iznosila 93%. Testirali su brzine prijenosa podataka do 400 Mbit/s što bi trebalo donijeti veliki iskorak u razvoju usluga. HT sudjeluje u PAN IP programu Deutsche Telekom (DT) kroz koji se razvija jedinstvena platforma za proizvodnju usluga. DT je matična tvrtka HT-a, a oni aktivno sudjeluju u razvoju 5G mreže u Europi pa se može očekivati da će i Hrvatska doprinijeti razvoju [26].

5. ZAKLJUČAK

Komunicirati znači dijeliti informaciju s drugima, a ta se potreba današnjice može zadovoljiti pomoću komunikacijskih sustava koji su prisutni svugdje oko nas. Mobilne su komunikacije nastale iz želje za mobilnošću i neovisnosti o fizičkoj vezi. Prva je generacija mobilnih komunikacijskih sustava bila analogna i imala puno nedostataka, ali je prvi put ikada bila moguća komunikaciju među mobilnim korisnicima. Druga je generacija bila digitalna i omogućavala je prijenos govora i tekstualnih poruka. Neki od sustava druge generacije su GSM, GPRS i EDGE i oni čine većinu današnjih mreža u svijetu. Treća se generacija usmjerila na povećavanje brzina prijenosa i pristup Internetu. Zahvaljujući sustavima treće generacije svijet je danas usmjeren na razvoj širokopojasnog pristupa Internetu. S četvrtom generacijom su došle veće brzine, sigurniji sustavi i manje kašnjenje.

Svaka nova generacija mobilnih komunikacijskih sustava nastala je zbog želje za poboljšanjem prethodne generacije i zato se danas razvija peta generacija mobilnih komunikacijskih sustava (5G). Kako bi 5G sustavi došli u široku upotrebu prvo se trebaju definirati standardi. Očekuje se da će do 2018. godine standardi biti zaključeni i tada bi prve javne mreže trebale biti dostupne, a na većoj razini oko 2020. godine. 5G sustav bi trebao povećati brzine prijenosa podataka, smanjiti kašnjenje, omogućiti velikom broju korisnika na malim područjima brzi Internet, povećati pokrivenost i povećati energetska učinkovitost komunikacijskih sustava. Kako bi to bilo moguće, razvijaju se nove tehnologije kojima će se odvojiti hardver od softvera i omogućiti virtualizacija mrežnih funkcija. Mreže će time postati efikasnije jer će se moći programirati i moći će se dijeliti na logičke cjeline od kojih će svaka imati drugačije karakteristike ovisno o potrebama korisnika. Jezgrena bi se mreža trebala podijeliti na više manjih jezgara kako bi se približila korisnicima i omogućila manje kašnjenje u odnosu na prošle sustave. Trenutno postoji mnogo ulaganja, istraživanja i testiranja novih tehnologija i mogućih prototipa 5G sustava. Na temelju nekih predviđanja 5G sustavi bi trebali u prvih pet godina postojanja generirati velika primanja i time se isplatiti.

Broj mobilnih korisnika svaki dan sve više raste i njihovi su zahtjevi sve veći. Trenutno su najraširenije mreže 2G i 3G sustava, a u razvijenim zemljama i 4G. Hrvatska je sa svojim maksimalnim dostupnim brzinama među boljima u svijetu, ali je u Europi prosječna i potrebno je još ulaganja. Najveći operateri u Hrvatskoj ulažu u daljnji razvoj i pokrivenost te sudjeluju u Europskim pokušajima razvoja 5G sustava.

LITERATURA

- [1]. E., Zentner: Antene i radiosustavi, Graphis, Zagreb, 2001.
- [2]. Fakulteta elektrotehnike i računarstva: Radijske tehnologije za širokopojasni nepokretni pristup i mjerenja, Zagreb, 2008.,
<https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2010.g/Zeno/Studije/Radijske%20tehnologije%20za%20sirokopojasni%20nepokretni%20pristup%20i%20mjerenja.pdf> (lipanj, 2016.)
- [3]. <http://telecomtutor.blogspot.hr/2011/02/cellular-concept.html> (lipanj, 2016.)
- [4]. D. Nemeč: Evolucija mobilnih telekomunikacionih sistema,
http://www.ingkomora.org.rs/materijalpo/download/2015/20151209_6693_Mobile_Evolution.pdf (svibanj, 2016.)
- [5]. <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/AMPS-vs-TACS-vs-NMT.html>
- [6]. A., Kumar, Y., Liu, J. Sengupta: Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G, <https://www.cs.ucsb.edu/~mturk/Courses/CS290I-2012/misc/1Gto4G.pdf> (svibanj, 2016.)
- [7]. A., Bažant, G., Gledec, Ž., Ilić, G., Ježić, M., Kos, M., Kunštić, I., Lovrek, M., Matijašević, B., Mikac, V., Sinković: Osnovne arhitekture mreža, Element, Zagreb, 2007.
- [8]. <http://www.slideshare.net/mustahidali90/umts-31480372> (lipanj, 2016.)
- [9]. B., Burazer: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije,
<http://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> (lipanj, 2016.)
- [10]. <http://www.engineersgarage.com/contribution/difference-between-2g-and-3g-technology> (svibanj, 2016.)
- [11]. T., Blajić: LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup,
https://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf (lipanj, 2016.)
- [12]. <http://www.rcrwireless.com/20140509/wireless/lte-network-diagram> (lipanj, 2016.)
- [13]. http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced_ (lipanj, 2016.)
- [14]. GSMA Intelligence: Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=141208-5g.pdf&download> (lipanj, 2016.)
- [15]. <https://www.abiresearch.com/market-research/product/1024877-5g/> (lipanj, 2016.)

- [16]. <http://www.juniperresearch.com/press/press-releases/5g-revenues-forecast-to-exceed-65bn-usd-by-2025> (lipanj, 2016.)
- [17]. GSMA Intelligence: The Mobile Economy 2016, <http://www.gsamobileeconomy.com/> (lipanj, 2016.)
- [18]. 5G-PPP: 5G Vision, <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf> (lipanj, 2016.)
- [19]. Ericsson: 5G systems, <https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/what-is-a-5g-system.pdf> (lipanj, 2016.)
- [20]. H. J., Son, M. M., Do: 5G Network as Envisioned by KT: Analysis of KT's 5G Network Architecture, Korea Communication Review, str. 31-34, prosinac, 2015.
- [21]. Ericsson: Ericsson mobility report 2016, <https://www.ericsson.com/res/docs/2016/ericsson-mobility-report-2016.pdf> (lipanj, 2016.)
- [22]. <https://www.ericsson.com/news/1983605> (lipanj, 2016.)
- [23]. http://about.att.com/story/unveils_5g_roadmap_including_trials.html (lipanj, 2016.)
- [24]. GSMA Intelligence: The Mobile Economy Europe 2015, <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=06d1c45d0528233e7a9560843d85c8bd&download> (lipanj, 2016.)
- [25]. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/towards-5g> (lipanj, 2016.)
- [26]. <http://www.t.ht.hr/press-centar/objave-za-medije/3156/Poslovni-rezultati-za-godinu-završenu-31-prosinca-2015.html> (lipanj, 2016.)
- [27]. Vipnet, <http://www.vipnet.hr/> (lipanj, 2016.)
- [28]. Hrvatski Telekom, <https://www.hrvatskitelekom.hr/> (lipanj, 2016.)

POPIS KRATICA

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

AMPS - Advanced Mobile Phone System

AU - Access Unit

AuC - Authentication Centre

BSC - Base Station Controller

BSS - Base Station Subsystem

BTS - Base Transceiver Station

CDMA - Code Division Multiple Access

CU - Cloud Unit

C-RAN - Cloud-RAN

DT - Deutsche Telekom

DU - Digital Unit

EDGE - Enhanced Data rates for GSM Evolution

EIR - Equipment Identification Register

EPS - Evolved Packet System

ETSI - European Telecommunications Standards Institution

FDMA - Frequency division multiplex access

GMSC - Gateway Mobile Switching Center

GPRS - Global Packet Radio System

GSM - Global System for Mobile Communication

HLR - Home Location Register

HSDPA - High-Speed Downlink Packet Access

HSS - Home Subscriber Server

HT - Hrvatski Telekom

IoT - Internet of Things

ITU - International Telecommunication Union

ITU-R - International Telecommunications Union-Radio

LTE - Long Term Evolution

M2M - Machine to Machine

MCU - Mobile Core Unit

MCU-CP - Mobile Core Unit - Control Plane

MCU-UP - Mobile Core Unit -User Plane
MIMO - Multiple Input Multiple Output
MME - Mobility Management Entity
MS - Mobile Station
MSC - Mobile Switching Centre
MTC - Machine Type Communication
MWA - Mobile Wireless Access
NFV - Network Function Virtualisation
NMT - Nordic Mobile Telephones
OFDMA - Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PCRF - Policy Control and Charging Rules Function
PCU - Packet Control Unit
P-GW - Packet Data Network Gateway
RAN - Radio Access Network
RNC - Radio Network Controller
RU - Radio Unit
SDN - Software defined Networks
S-GW - Serving Gateway
TACS - Total Access Communication System
TDMA - Time Division Multiple Access
UMTS - Universal Terrestrial Mobile System
UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR - Visitor Location Register
W-CDMA - Wideband-Code Division Multiple Access

SAŽETAK

U ovom je radu prikazan razvoj mobilnih komunikacijskih sustava od prve do četvrte generacije. Opisane su osnovne karakteristike, arhitektura i usporedba s prethodnim sustavima. Objašnjena su očekivanja od pete generacije mobilnih komunikacijskih sustava, dosadašnji razvoj, moguća arhitektura, isplativost i primjena. Dan je pregled stanja mobilnih komunikacijskih sustava na svjetskom, europskom i hrvatskom tržištu.

KLJUČNE RIJEČI: mobilni komunikacijski sustavi; 5G; pregled; tržište

5G MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

SUMMARY

This paper provides an overview of development of mobile communication systems from first to fourth generation. Basic characteristics, architecture and differences of systems are described. As well as expectations from fifth generation of mobile communication systems, its development, possible architecture, profitability and application. Current state of mobile communication systems in world, Europe and Croatia is also described.

KEY WORDS: mobile communication systems; 5G; overview; market

ŽIVOTOPIS

Dora Fundak rođena je 30. siječnja 1995. godine u Osijeku. Završila je osnovnu školu Miroslava Krležu u Čepinu nakon koje je upisala III. gimnaziju Osijek. Tijekom srednje škole sudjelovala je na županijskim natjecanjima iz informatike, Hrvatskim otvorenim natjecanjima u informatici (HONI) i ACSL All-Star natjecanjima. Maturirala je 2013. godine i upisala preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.