

Načela rada 5G sustava

Momić, Ines

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:200:652820>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-03**

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**

Sveučilišni studij

NAČELA RADA 5G SUSTAVA

Završni rad

Ines Momić

Osijek, 2022.

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

Osijek, 16.09.2022.

Odboru za završne i diplomске ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Ines Momić
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4774, 23.09.2019.
OIB Pristupnika:	59014847194
Mentor:	Doc. dr. sc. Denis Vranješ
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Načela rada 5G sustava
Znanstvena grana rada:	Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rad:	U okviru ove teme potrebno je dati teorijski osvrt na rad i primjenu 5G sustava te njihovu usporedbu sa sustavima prethodnih generacija (prednosti i nedostatci). Potrebno je opisati sve dijelove 5G mreže uz detaljno pojašnjenje funkcioniranja svakog od njih.
Prijedlog ocjene završnog rada:	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	16.09.2022.
Datum potvrde ocjene od strane Odbora:	21.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

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

Osijek, 21.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Ines Momić

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4774, 23.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

8

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Načela rada 5G sustava**

izrađen pod vodstvom mentora Doc. dr. sc. Denis 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. RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA.....	2
2.1. Komunikacijski sustavi.....	2
2.2. Prva generacija (1G) komunikacijskih sustava.....	4
2.3. Druga generacija (2G) komunikacijskih sustava	5
2.4. Treća generacija (3G) komunikacijskih sustava	8
2.5. Četvrta generacija (4G) komunikacijskih sustava	11
3. PETA GENERACIJA (5G) KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA.....	14
3.1. Razlozi uvođenja 5G sustava	14
3.2. Usporedba 5G s prethodnim komunikacijskim sustavima	16
3.3. Izazovi za 5G komunikacijski sustav	18
4. ARHITEKTURA 5G MREŽE	21
4.1. 3GPP arhitektura 5G mreže	21
4.2. Arhitektura radijske pristupne mreže sljedeće generacije (NG-RAN).....	23
4.3. Arhitektura jezgrene mreže sljedeće generacije (NG – 5GC).....	24
4.4. Raslojavanje mreže.....	28
5. SLUČAJEVI UPOTREBE 5G MREŽE	30
5.1. Zahtjevi 5G mreže.....	30
5.2. Internet stvari (IoT).....	31
5.3. Industrija 4.0 (Četvrta industrijska revolucija).....	33
5.4. Automobilaska industrija.....	34
5.5. Virtualna i proširena stvarnost.....	35
6. ZAKLJUČAK.....	37
LITERATURA	38

POPIS KRATICA	42
SAŽETAK.....	48
ABSTRACT	49
ŽIVOTOPIS.....	50

1. UVOD

Mobilne i druge komunikacijske mreže međusobno su povezivale ljude i tehnologiju od sredine 20.og stoljeća do danas. U polju mobilne komunikacije unazad pedeset godina nastale su brojne tehnološke inovacije koje su omogućile razvoj pet generacija mobilnih komunikacijskih sustava. Od samih početaka analogne komunikacije koja je pružala samo usluge poziva pa do potpuno bežične komunikacije koja nudi širokopojasni pristup Internetu, mobilne komunikacijske mreže morale su ispuniti brojne zahtjeve i određene izazove. U posljednjem desetljeću zahtjevi za mobilne mreže naglo su se povećali i kako bi se ispunili potrebna je implementacija nove (pete) generacije mobilnih mreža. Peta generacija komunikacijskih sustava neće predstavljati samo novu generaciju mobilnih mreža s poboljšanim značajkama, već i potencijalnu budućnost svih komunikacija. Osim poboljšanih usluga širokopojasnog interneta, 5G mreža pružat će i usluge visoko pouzdane komunikacije malog kašnjenja i komunikacije uređaja s uređajem. Slučajevi upotrebe, zahtjevi, izazovi, arhitektura mreže i brojne druge značajke 5G mreže opisane su u ovom radu koji se sastoji od 6 poglavlja. U drugom poglavlju prikazan je razvoj mobilnih komunikacijskih sustava od prve generacije (1G) do četvrte generacije (4G) komunikacijskih sustava. U trećem poglavlju prikazana je usporedba dosadašnjih komunikacijskih sustava s 5G komunikacijskim sustavom, te izazovi i motivacija uvođenja 5G mreže. Četvrto poglavlje sadrži detaljan opis arhitekture 5G mreže i tehnika korištenih unutar mreže, a u petom poglavlju opisane su usluge raznih slučajeva upotrebe 5G mreže.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada je dati teorijski osvrt na rad i primjenu 5G sustava, njegove specifikacije i značajke te usporedbu sa sustavima prethodnih generacija. Potrebno je opisati arhitekturu 5G mreže uz detaljno pojašnjenje funkcioniranja svih dijelova.

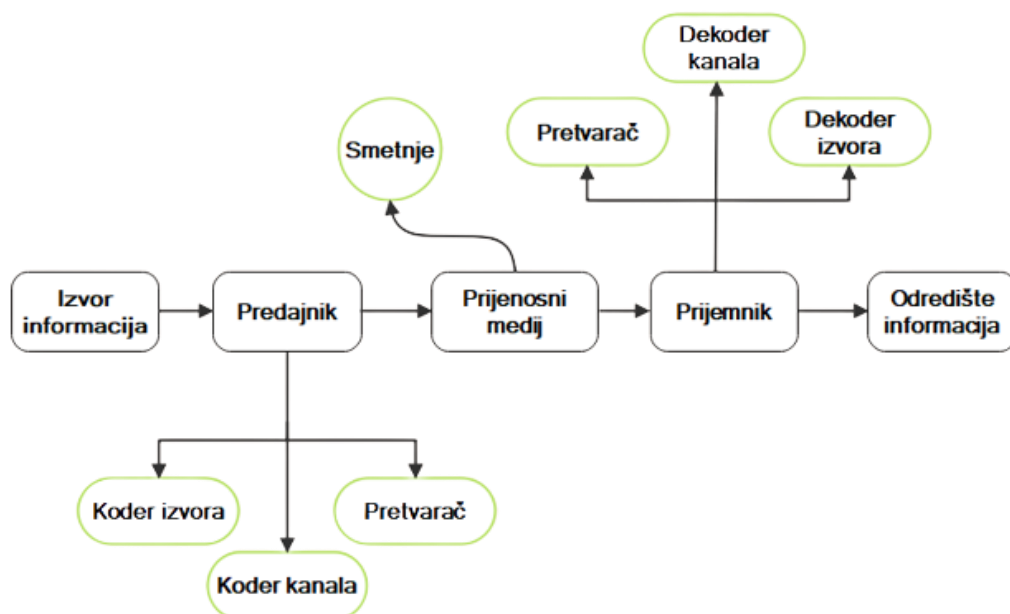
2. RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

Mobilni komunikacijski sustavi omogućili su elektroničku komunikaciju kakvu danas poznajemo i na taj način revolucionirali proces pomoću kojeg međusobno prenosimo informacije. Razvoj bežične mobilne komunikacije započeo je 1970-ih godina i u sljedećih pet desetljeća postepeno su se razvijale generacije komunikacijskih sustava od 1G do 5G. Svaka nova generacija nudila je naprednije i kvalitetnije usluge, te šira područja primjene u odnosu na prethodnu generaciju. Potrebe za boljim i efikasnijim korištenjem internetskih usluga neprestano rastu pa sukladno tome u budućnosti možemo očekivati kontinuirane napretke u području mobilnih mreža, te brojne tehnološke inovacije [1].

2.1. Komunikacijski sustavi

Komunikacija predstavlja postupak razmjene informacija između ljudi s ciljem prenošenja misli, ideja ili osjećaja. Proces komunikacije sastoji se od kodiranja poruke, poruke u komunikacijskom kanalu, dekodiranja poruke i povratne veze koja zatvara komunikacijski proces. Struktura komunikacije može se podijeliti na usmeno (verbalno) izražavanje, kontaktno (neverbalno) izražavanje, pismenu komunikaciju i elektroničku komunikaciju. Poznati elektronički uređaji za komunikaciju kao što su telefon, radio, TV i računalo znatno su povećali broj mogućnosti za razmjenu informacija [2].

Svi elektronički komunikacijski sustavi sastoje se od izvora informacija, predajnika, komunikacijskog kanala odnosno prijenosnog medija, prijemnika i odredišta informacije. Na slici 2.1. prikazana je blok shema komunikacijskog sustava. Postupak komunikacije započinje izvorom informacije. Izvor informacije može biti bilo koja jedinka poput čovjeka ili računala koja šalje određenu poruku tj. signal. Ova poruka naziva se informacijom ili obavještajnim podatkom, koji se zatim u obliku elektroničkog signala dovodi do predajnika. Predajnik poruku proslijeđuje kroz komunikacijski kanal do primatelja koji ju preuzima i proslijeđuje drugom pojedincu. U prijenosnom mediju i prijemniku mogu se pojaviti i smetnje, a smetnjama se smatraju bilo koje pojave koje degradiraju ili ometaju prenesene informacije [2].



Slika 2.1. Blok shema komunikacijskog sustava [3].

Predajnik je skup elektroničkih komponenti i sklopova poput pojasnih filtera i pojačala, modulatora, radio frekvencijskih oscilatora i pojačala, frekvencijskih miješala i drugih sklopova. Predajnik analogni signal poput video i audio signala pretvara u električni signal. Električni signal nakon toga prolazi kroz proces digitalizacije i kodiranja kako bi se pretvorio u digitalni oblik. Slijedi modulacija odnosno transformacija električnog signala koji nosi informaciju. Ovim postupkom se signal prilagođava na prijenos kroz zadani komunikacijski medij [2].

Prijemnici se sastoje od elektroničkih sklopova poput prijemne antene, ulaznih pojačala, ulaznih filtera, demodulatora i frekvencijskih miješala koji obnavljaju izvorni obavještajni signal. Izvorni signal predstavlja izlaz koji se očitava ili prikazuje. Izvorni signal može biti glasovni signal, video signal ili binarni podaci [2].

Komunikacijski uređaji se najčešće sastoje od sklopova koji i šalju i primaju signale, a razlog tomu je što većina elektroničke opreme koristi dvosmjernan način prijenosa signala. Kod dvosmjernog načina prijenosa signala obje strane moraju imati i prijemnik i predajnik. Ovi sklopovi se nazivaju primopredajnici. Telefon, radio, mobilni telefoni i računalni modemi primjeri su primopredajnika [2].

Elektroničke komunikacije možemo podijeliti ovisno o načinu prijenosa signala i vrsti signala kojeg prenose. Način prijenosa može biti jednosmjernan (*simplex*) ili dvosmjernan (*half duplex* ili *full duplex*), a sam signal može biti analogan ili digitalan. *Simplex* način prijenosa

signala omogućava samo jednosmjernu komunikaciju u kojoj pošiljalatelj može poslati podatke, ali ih ne može primiti. Primjer uređaja koji rade na temelju *simplex* načina prijenosa signala su tipkovnica i monitor. Dvosmjerni način prijenosa signala u kojem pošiljalatelj može slati i primiti podatke jedan po jedan naziva se *half duplex*. Primjer uređaja koji koristi *half duplex* način prijenosa signala je voki-toki, dvosmjerni radio-primopredajnik. *Full duplex* predstavlja dvosmjerni način prijenosa u kojem pošiljalatelj može istovremeno slati i primiti poruke, a za primjer uređaja koji koristi *full duplex* prijenos signala imamo telefon [4]. Analogni signal predstavlja kontinuirano promjenljiv napon ili struju. Prikazuje se kao sinusni val i prenosi se u obliku vala, a primjer analognog signala je ljudski glas – audio signal. Digitalni signal ne mijenja se kontinuirano već u diskretnim prirastima. Prikazuje se kvadratnim valom, a prenosi podatke u obliku 0 i 1, tj. pomoću binarnog zapisa. Primjer digitalnog signala bili bi signali koji se koriste za prijenos u računalo [2].

2.2. Prva generacija (1G) komunikacijskih sustava

Prvu generaciju mobilnih mreža razvila je japanska Telegrafska i telefonska korporacija Nippon (engl. *Nippon Telegraph and Telephone* - NTT) u Tokiju tijekom 1979. godine. Početkom 1980-ih 1G mreža postala je popularna u SAD-u i Europi. Prva generacija mobilnih mreža koristila je analogne signale i nudila samo usluge poziva [5]. Ostale ključne značajke 1G sustava prikazane su u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Ključne značajke 1G sustava [5].

Frekvencija	800 MHz i 900 MHz
Širina pojasa	10 MHz (666 <i>duplex</i> kanala sa širinom pojasa 30 KHz)
Tehnologija	Analogno prebacivanje
Modulacija	Frekvencijska modulacija (FM)
Način usluge	Glasovna
Tehnika pristupa	Višestruki pristup s frekvencijskom podjelom (FDMA)

Kao tehniku pristupa koja omogućava da više korisnika dijeli raspoloživi spektar frekvencija 1G sustav koristi višestruki pristup s frekvencijskom podjelom kanala (engl. *Frequency Division Multiplex Access* – FDMA). S višestrukim pristupom s frekvencijskom podjelom svaki kanal može biti dodijeljen samo jednom korisniku u isto vrijeme. FDMA je

osnovna tehnologija koja se koristi u analognom naprednom sustavu mobilnih telefona (engl. *Advanced Mobile Phone Service* - AMPS), a također se koristi i u komunikacijskom sustavu potpunog pristupa (engl. *Total Access Communication System* - TACS) [6].

AMPS je analogni napredni sustav mobilnih telefona, razvijen ranih 1980-ih u američkoj tvrtki AT&T. Ovaj sustav predstavlja prvu generaciju tehnologije mobilnih telefona. AMPS koristi radio frekvencije u rasponu od 800 MHz do 900 MHz. Frekvencijski pojas podijeljen je u više tzv. pod-pojaseva od 30 KHz koji se nazivaju kanali, a navedeni kanali se dijele na kanale za prijem i kanale za slanje. Višestruki pristup s frekvencijskom podjelom omogućio je podjelu frekvencijskog pojasa na pod-pojaseve [7].

Sustav nordijskih mobilnih telefona (engl. *Nordic Mobile Telephones* - NMT) i komunikacijski sustav potpunog pristupa (engl. *Total Acces Communication System* – TACS) bila su dva najrasprostranjenija sustava u Europi. NMT je prvi europski multinacionalni sustav korišten u skandinavskim zemljama, a TACS je analogni sustav prvi put korišten u Ujedinjenom Kraljevstvu. TACS je koristio frekvencijski pojas od 900 MHz i omogućavao do 1320 kanala koristeći razmak kanala od 25 kHz [8].

Prva generacija mobilnih komunikacijskih sustava imala je brojne nedostatke koji su stvorili potrebu za novom digitalnom generacijom mobilnih sustava. Analogni sustavi pružali su samo usluge uspostavljanja glasovnih poziva dok slanje poruka i podataka nije bilo moguće. Glasovni pozivi su se mogli uspostavljati samo unutar jedne države uz lošu kvalitetu glasa i malu razinu sigurnosti (pozivi su se mogli dekodirati pomoću FM demodulatora). Osim slabe pokrivenosti i ograničenog broja korisnika mobilni telefoni bili su velikih dimenzija i neprikladni za nošenje, te je baterija uređaja kratko trajala [5].

2.3. Druga generacija (2G) komunikacijskih sustava

2G mobilni komunikacijski sustav pojavio se krajem 1980-ih na temelju globalnog sustava za mobilne komunikacije (engl. *Global System for Mobile Communications* - GSM). Za razliku od 1G sustava, 2G sustav koristi digitalne signale umjesto analognih signala, što ga čini sigurnijim i pruža mogućnost digitalne enkripcije. Glavni cilj 2G sustava je bio omogućiti usluge poput poruka, roaminga, slika, SMS poruka, e-mailova i sl. Koristio je širinu pojasa od 30 do 200 KHz i omogućavao brzine prijenosa podataka od 64 kbps. Sustavi druge generacije (2G) koriste digitalnu višestruko pristupnu tehnologiju kao što je višestruki pristup s vremenskom podjelom (engl. *Time*

Division Multiple Access - TDMA) i višestruki pristup s kodnom podjelom (engl. *Code Division Multiple Access - CDMA*) [1]. U tablici 2.2. nalaze se ključne razlike između 2G i 1G sustava.

Tablica 2.2. Ključne razlike između 1G i 2G [9]

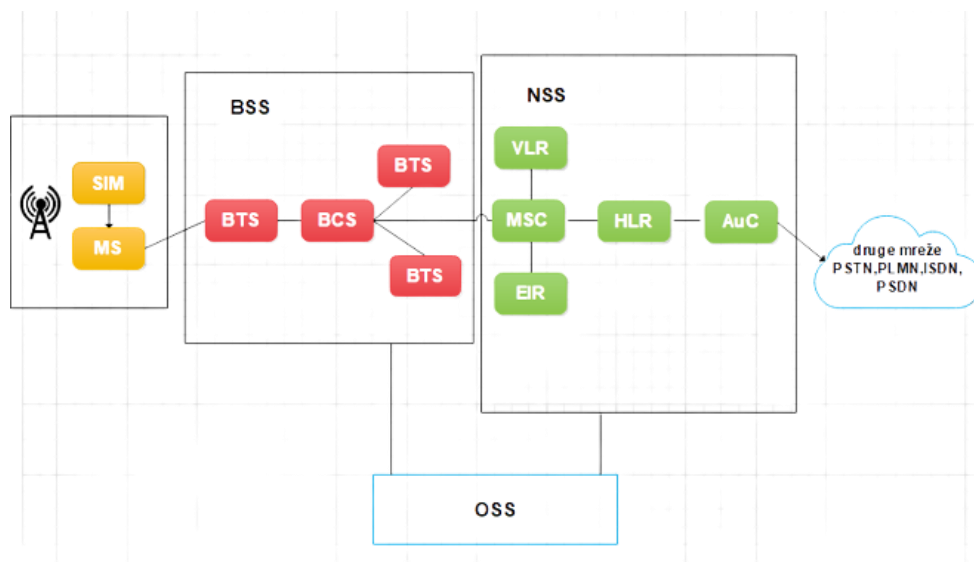
Osnove za usporedbu	1G	2G
Signal za komunikaciju	Analogni	Digitalni
Tehnika pristupa	FDMA	TDMA, CDMA
Tehnologija	AMTS, MTS, IMTS	GSM
Komutacija	Komutacija kruga	Komutacija kruga i paketa
Usluga komunikacije	Glasovna	Glasovna i podatkovna
Internet	Ne pruža internet	Pružava uskopojasne internetske usluge

TDMA je tehnika pomoću koje se kanal na određenoj frekvenciji dijeli na vremenske odsječke koji se dodjeljuju većem broju korisnika, što omogućava svakom korisniku korištenje iste radio frekvencije. Na ovaj način svi korisnici naizmjenično koriste kanal što povećava efikasnost frekvencijskog pojasa. Kada je korisnik završio s korištenjem dodijeljenog vremenskog odsječka, vremenski odsječak se oslobađa i korisnik mora čekati svoj red kako bi ponovno mogao uspostaviti slanje podataka. Prijenos podataka nije kontinuiran pa se odašiljač može ugasiti kada se ne koristi, zbog čega TDMA za razliku od FDMA-e ima nisku potrošnju energije [10].

CDMA je tehnika pomoću koje više signala može dijeliti jedan komunikacijski put. Ova tehnika omogućava svim korisnicima istovremeno slanje i primanje podataka bez potrebe za vremenskom ili frekvencijskom podjelom. U usporedbi s TDMA tehnikom pristupa, CDMA je fleksibilnija tehnika i nudi veće brzine prijenosa podataka. Također je pouzdanija, otpornija i pokriva veće područje. Jedini nedostatak u usporedbi sa TDMA tehnikom bila bi veća potrošnja energije zbog kontinuiranog slanja podataka [10].

GSM je standard koji određuje funkcionalnost druge generacija (2G) mobilnih mreža. GSM je omogućio prijelaz s analognih na digitalne signale pa je glasovna komunikacija po prvi puta postala kodirana u digitalne signale prije nego što je prenesena kroz komunikacijski kanal. GSM je godinama vladao kao najzastupljeniji svjetski standard za mobilne komunikacije no danas 2G mreže više nisu u širokoj primjeni jer ne mogu konkurirati brzinama koje nude 3G, 4G i 5G mreže.

GSM standard dijeli mrežu u četiri dijela, a to su mobilna stanica (engl. *Mobile Station* - MS), podsustav bazne stanice (engl. *Base Station Subsystem* - BSS), mrežni i komutacijski podsustav (engl. *Network and Switching Subsystem* - NSS) i sustav operativne podrške (engl. *Operations Support System* - OSS) [11]. Svaki navedeni dio mreže sadrži nekoliko komponentata koje zajedno čine jednu cjelovitu mobilnu mrežu koja je prikazana na slici 2.2.



Slika 2.2. Arhitektura GSM mreže [12]

Mobilna stanica je pristupna točka koja se koristi za spajanje na mrežu preko hardvera. Toje uređaj s modulom za identifikaciju pretplatnika (SIM karticom) (engl. *Subscriber Identity Module* - SIM) koji služi za povezivanje uređaja s pojedinačnim pretplatnikom. Ovaj modul uređaju omogućava povezivanje s najbližim podsustavom bazne stanice (BSS).

BSS se sastoji od bazne primopredajne stanice i kontrolera bazne stanice. Bazna primopredajna stanica sadrži komponente poput prijemnika i antene, a kontroler bazne stanice predstavlja tehnologiju koja putem mrežnog i komutacijskog podsustava omogućuje baznim primopredajnim stanicama da prenose signale kroz mrežu.

Glavne funkcije mrežnog i komutacijskog podsustava (NSS) su : kontrola poziva, prikupljanje informacija, komunikacija s drugim mrežama i podsustavom bazne stanice, lociranje pretplatnika i upravljanje njihovim podacima. Elementi ovog sustava su matični registar (engl. *Home Location Register* – HLR), centar za komutaciju mobilne mreže (engl. *Mobile Services Switching Center* – MSC), registar lokacije posjetitelja (engl. *Visitor Location Register* – VLR),

centar za autentikaciju (engl. *Authentication Center* – AuC) i registar identiteta opreme (engl. *Equipment Identity Register* – EIR).

Sustav operativne podrške (OSS) omogućuje upravljanje mrežom. Može se koristiti za konfiguraciju mrežnih elemenata, upravljanje uslugama koje nude, rukovanje pogreškama sustava i za upravljanje stanjem sustava [11].

GSM tehnologija se s vremenom poboljšavala i nudila bolje usluge pa su se tako razvili napredniji sustavi 2,5G i 2,75G. 2,5G sustavi omogućavali su brzine prijenosa podataka do 144 kbps, a 2,75G sustavi čak 180 kbps, što je bilo duplo više od brzine prijenosa koju je omogućavao 2G sustav [1]. Kako bi se omogućila još veća brzina prijenosa podataka, uvedene su tehnologije poput opće paketne radio usluge (engl. *General Packet Radio Service* - GPRS), unaprijeđene evolucije GSM prijenosa podataka (engl. *Enhanced Data GSM Evolution* – EDGE) i CDMA2000. GPRS je omogućavao brzine prijenosa podataka do 171 kbps, a EDGE je mogao osigurati brzine do 473,6 kbps. CDMA2000 je također pokazala napredak u povećanju brzine do 384 kbps. Navedene tehnologije imale su sličnu arhitekturu kao GSM standard, ali s dodatnim elementima i sklopovima za unaprijeđenje sigurnosti i ostalih bitnih značajki [5].

Iako su se nakon 2G razvili novi napredniji sustavi koji su poboljšali brzinu prijenosa podataka i sigurnost mreže, korisnici i operateri su se još uvijek suočavali s neizbježnim nedostacima. Neki od tih nedostataka bili su niska brzina prijenosa podataka, ograničena pokretljivost, ograničen broj korisnika i hardverskih mogućnosti, nemogućnost upravljanja podacima poput videozapisa i općenito manje mogućnosti na mobilnim uređajima. Osim toga bili su potrebni jaki digitalni signali jer bi se u slučaju slabih digitalnih signala na nekom području izgubila pokrivenost mreže. Zbog navedenih problema nastala je želja za uvođenjem znatno naprednije 3G mreže [5].

2.4. Treća generacija (3G) komunikacijskih sustava

Treća generacija (3G) komunikacijskih sustava pojavila se početkom 21. stoljeća i nakon uvođenja 3G sustava pametni telefoni postali su popularni diljem svijeta. Korisnici su se po prvi put susreli s raznim uslugama koje su nudile puno više od uspostave poziva i poruka koje je pružala 2G mreža. Ključne razlike u značajkama 2G i 3G mreža nalaze se u tablici 2.3 Neke od usluga koje je 3G mreža omogućila bili su video pozivi, GPS, multimedijske poruke, mogućnost širokopojasnog interneta, brojne aplikacije i igre, razvoj društvenih mreža i sl. Sva navedena područja primjene 3G mreže su se razvila zbog visoke brzine prijenosa podataka koju je omogućio

univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav (engl. *Universal Mobile Telecommunication System* - UMTS) [5].

Tablica 2.3 .Ključne razlike između 2G i 3G [13]

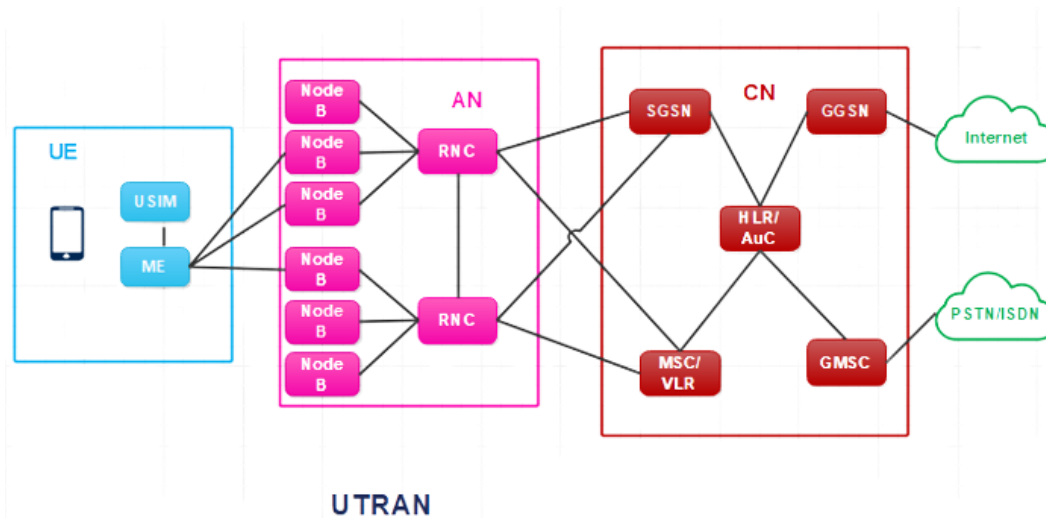
Osnove za usporedbu	2G	3G
Tehnologija	GSM	UMTS
Tehnika pristupa	TDMA, CDMA	CDMA
Komutacija	Komutacija kruga i paketa	Komutacija paketa osim zračnih smetnji
Internet	Uskopojasni	Širokopojasni
Širina pojasa	25 MHz	25 MHz
Prednosti	Multimedijske značajke (SMS,MMS), Internet, SIM	Visoka sigurnost, internacionalni roaming
Aplikacije	Glasovni pozivi, kratke poruke	Video konferencije, GPS, mobilni TV

Međunarodna telekomunikacijska unija (engl. *International Telecommunication Union* - ITU) je pomoću IMT-2000 standarda definirala zahtjeve za svaku 3G mrežu. Organizacija 3GPP (engl. *3rd Generation Partnership Project* – 3GPP) je nastavila taj posao definirajući sustav pod nazivom UMTS, koji ispunjava IMT-2000 standard. Zahtjevi definirani IMT-2000 standardom uključivali su širinu frekvencijskog pojasa od 2000 MHz, pružanje brzine prijenosa od 2 Mbps za korisnike u zatvorenim prostorima poput ureda, 384 kbps za korisnike u pokretu i 144 kbps za korisnike u vozilima [14].

Iz navedenog se može zaključiti kako UMTS koristi širi frekvencijski pojas i brzine prijenosa od GSM sustava, te također koristi manje energije za prijenos ili preuzimanje podataka. Zbog povećane brzine prijenosa podataka, UMTS je postao idealan za brzi Internet. UMTS sustav koristi tehnologiju višestrukog pristupa s podjelom koda (CDMA) ili širokopojasnu CDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access* - W-CDMA) tehnologiju koja koristi širi frekvencijski pojas od CDMA tehnologije [15].

Mrežna arhitektura UMTS sustava predstavlja nadogradnju GSM/GPRS sustava. UMTS koristi istu jezgrenu mrežu kao GPRS, ali potpuno novu radijsku pristupnu mrežu. Nova pristupna mreža u UMTS sustavu naziva se UTRAN (engl. *Universal Terrestrial Radio Access Network* - UTRAN). UTRAN uvodi dva nova mrežna elementa : čvor B (engl. *Node B*) i upravljač radijske

mreže (engl. *Radio Network Controller* - RNC) [16]. Slika 2.3. prikazuje arhitekturu UMTS sustava.



Slika 2.3. Arhitektura UMTS mreže [17]

Kako bi se još povećala brzina prijenosa podataka u 3G mrežama, u mrežu se uvode posebni protokoli HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Access* - HSDPA) i HSUPA (engl. *High Speed Uplink Packet Access* - HSUPA). HSPA (engl. *High Speed Packet Access* - HSPA) je integrirani spoj ta dva protokola. Uvođenjem ova dva protokola nastaje 3.5G mreža koja pruža brzinu prijenosa podataka do 2 Mbps. Kasnije se uvodi i HSPA+ (engl. *High Speed Packet Access plus* - HSPA+) te nastaje 3,7G mreža, koja će se s vremenom razviti u 3.9G sustav poznat kao WiMax [5].

Prvu komercijalnu 3G mrežu pokrenuo je NTT DoCoMo 1.listopada 2001. u Japanu. Ova mreža je koristila W-CDMA tehnologiju i zvala se FOMA. Druga komercijalno dostupna mreža pokrenuo je SK Telecom u Južnoj Koreji 2002., a koristila je tehnologiju 1xEV-DO (engl. *Evolution Data Optimized* - 1xEV-DO). U Europi je za uvođenje prve 3G mreže bila zaslužna tvrtka 3 (Dio Hutchison Whampoa) u ožujku 2003, a u SAD-u je prvu komercijalnu 3G mrežu pokrenuo *Monet Mobile Networks* u listopadu 2003. Europska 3G mreža koristila je W-CDMA tehnologiju, dok je američka mreža koristila CDMA2000 1x EV-DO tehnologiju. Tvrtka *Hutchison Telecommunications* je u travnju 2003. omogućila prvu 3G komercijalnu mrežu na južnoj hemisferi. Ova mreža bila je poznata pod nazivom *Three* i koristila je UMTS sustav. U Africi je prva komercijalna 3G mreža bila pod nazivom EMTEL i koristila je W-CDMA tehnologiju [14].

Glavni nedostaci 3G mreže koji su uzrokovali potražnju i pojavu novog komunikacijskog sustava 4G bili su skupe licence za spektar, skupa infrastruktura, skupa oprema i implementacija, veći zahtjevi za frekvencijski pojas za podršku veće brzine prijenosa podataka, skupi mobilni uređaji, te kompatibilnost sa 2G sustavom.

2.5. Četvrta generacija (4G) komunikacijskih sustava

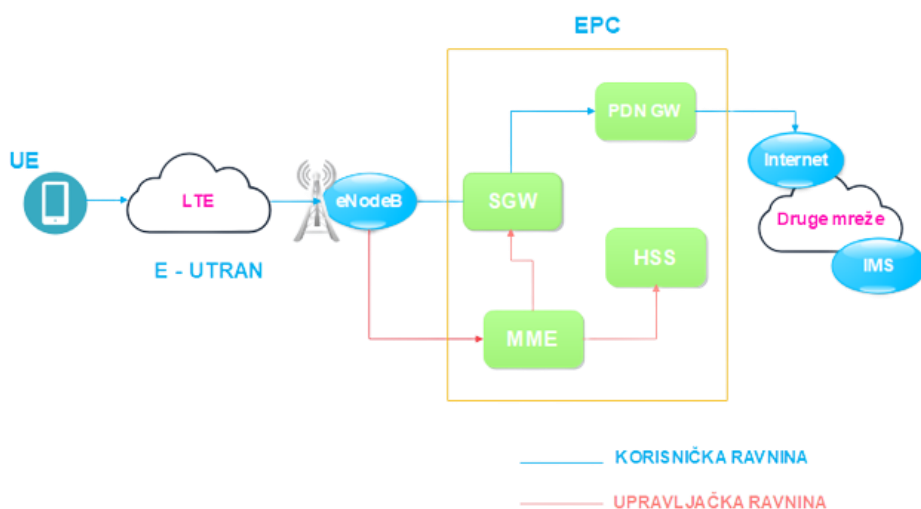
4G je četvrta generacija mobilnih mreža uvedena 2009. godine. Za razliku od prethodnih 3G mreža, 4G mobilne mreže nudile su brzine prijenosa podataka od 1Gbps, manju latenciju tj. vrijeme kašnjenja, ultra širokopojasni Internet, brojne nove aplikacije, učinkovitije korištenje radio frekvencijskog spektra, povećanu sigurnost, poboljšani internetski prijenos tj. mrežno strujanje i sl.[6]. U tablici 2.4. prikazane su ključne razlike između 3G i 4G mreže. 4G mreže koriste dvije tehnologije pod nazivom LTE (engl. *Long Term Evolution* - LTE) i WiMax (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (AXess) – WiMax). Grupa za standarde *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) razvila je LTE tehnologiju prema zahtjevima za 4G mreže koje je postavio ITU-R (engl. *International Telecommunications Union – Radio* – ITU-R) standard. Neki od tih zahtjeva su povećanje brzine prijenosa podataka, smanjenje latencije, povećanje učinkovitosti frekvencijskog spektra, ušteda potrošnje energije i niža ulaganja u infrastrukturu. WiMax je tehnologija definirana prema IEEE 802.16 standardu. WiMax ima lošije značajke od LTE tehnologije jer ne ispunjava sve zahtjeve koje je postavio ITU-R standard i zbog toga se smatra 3,9G sustavom [18].

Tablica 2.4. Ključne razlike između 3G i 4G [13]

Osnove za usporedbu	3G	4G
Tehnologija	UMTS	LTE, WiMAX
Tehnika pristupa	CDMA	OFDMA, MIMO
Komutacija	Komutacija paketa osim zračnih smetnji	Komutacija paketa
Internet	Širokopojasni	Ultra širokopojasni
Širina pojasa	25 MHz	100 MHz
Prednosti	Visoka sigurnost, internacionalni roaming	Brzina, visoke brzine primopredaje, globalna mobilnost
Aplikacije	Video konferencije, GPS, mobilni TV	Aplikacije visokih brzina, mobilni TV, nosivi uređaji

LTE koristi višestruki pristup s ortogonalnom frekvencijskom podjelom (engl. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* – OFDMA) kao metodu višestrukog pristupa u silaznoj vezi, a FDMA tehniku s jednim nositeljem (engl. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* - SC-FDMA) kao metodu višestrukog pristupa u uzlaznoj vezi. Sljedeća metoda koju LTE koristi je metoda višeslojnih prijenosa (engl. *Multiple input, Multiple Output* – MIMO). Zbog različitih šumova i smetnji u okolišu prijenos signala od antene do prijemnika može biti iskrivljen. Kako bi se spriječio takav narušeni prijenos, MIMO metoda koristi više prijemnika i antena za stvaranje nekoliko puteva za prijenos istog signala. Prijemnik može razlikovati signale i smanjiti izobličenja koja nastaju zbog višestrukih puteva i tako povećava učinkovitost mreže i kvalitetu signala [18].

U arhitekturi 4G LTE mreže koja se nalazi na slici 2.4. korisnička oprema (engl. *User Equipment* - UE) se preko LTE radio pristupne mreže E-UTRAN (engl. *Radio Access Network* - Evolved-UTRAN) povezuje na razvijenu jezgru paketa (engl. *Evolved Packet Core* - EPC). UE predstavlja bilo koji mobilni uređaj ili pametni telefon. Nakon povezivanja na EPC, UE se povezuje na vanjske mreže (engl. *External Networks*) poput Interneta. Razvijeni čvorB (engl. *Evolved NodeB* - eNodeB) odvaja korisničku razinu od kontrolne razine. Korisnička ravnina predstavlja promet korisničkih podataka, a kontrolna ravnina promet podataka upravljanja mrežom. Nakon toga čvorB zasebno obje razine uvodi u EPC [19].



Slika 2.4. Arhitektura LTE mreže [19]

Napredni LTE (engl. *LTE Advanced*, LTE-A) je standard uveden 2012. godine i predstavljao je napredniju i bolju LTE tehnologiju što se da zaključiti i iz samog imena standarda.

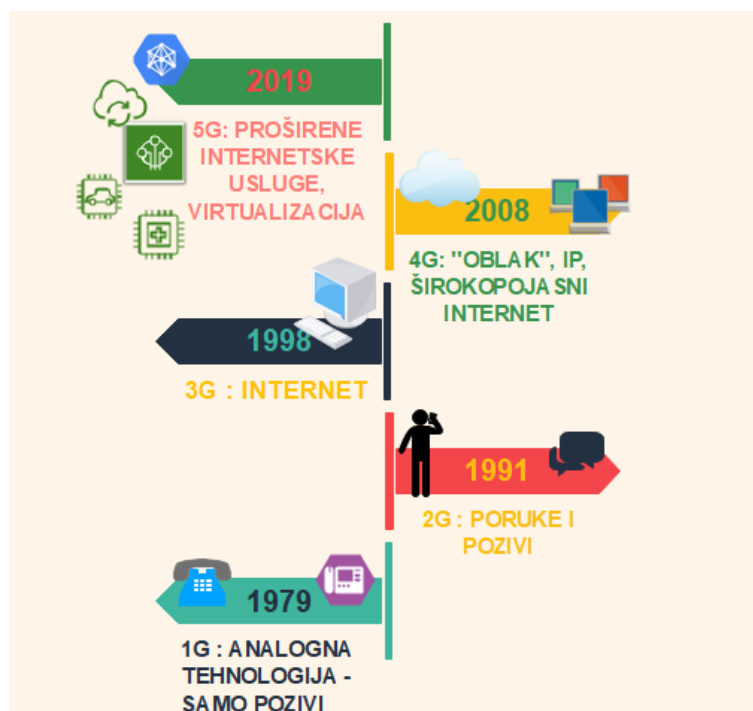
Neke od prednosti LTE-A nad LTE-om bili su povećane brzine prijenosa podataka, prošireni frekvencijski pojas i dvostruko veća brzina podataka na rubu ćelije. LTE-A nudi 1 Gbps u silaznoj vezi i 500 Mbps u uzlaznoj vezi, te širinu frekvencijskog pojasa od 70 MHz u silaznoj i 40 MHz u uzlaznoj vezi [20].

Mnoge aplikacije Interneta stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) koriste 4G LTE mrežu ili neke druge LTE kategorije poput dugoročne evolucije za strojeve (engl. *Long Term Evolution for Machines* - LTE-M) i LTE-Cat 1 (kategorija jedan). LTE-M je vrsta tehnologije koja koristi široko područje male snage (engl. *Low Power Wide Area Network* - LPWAN). Ova tehnologija povezuje značajke za uštedu energije, velike brzine prijenosa podataka, te dostupne i povoljne komponente. LTE-M povezivanje nudi uređajima razne mogućnosti poput korištenja načina rada za uštedu energije (engl. *Power Saving Mode* - PSM) i diskontinuirani prijem (engl. *Discontinuous Reception* - DRX). Navedene pogodnosti dovode do smanjenja potrošnje energije u stanju mirovanja. Ostale prednosti LTE-M standarda bile bi isplativost te izvrsna globalna pokrivenost. Cijena LTE-M modula predstavlja jednu trećinu cijene LTE modula, ali LTE-M standard i dalje dopušta uređajima koji su međusobno povezani na Internet stvari korištenje 4G LTE infrastrukture [19].

4G LTE sustavi pokazali su iznimno velike prednosti nad 3G sustavima, ali kao i svaki sustav imaju svoje nedostatke. Infrastruktura i hardver nisu jeftini, a zbog visokih brzina prijenosa podataka baterija uređaja se brže troši. Kako bi korištenje 4G mreže bilo izvedivo, potrebni su skuplji mobilni uređaji koji podržavaju ovu mrežu. Ako korisnik i posjeduje 4G kompatibilan uređaj, a živi u području u kojem 4G mreža i dalje nije dostupna, biti će primoran koristiti 3G mrežu ili WiFi.

3. PETA GENERACIJA (5G) KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

Svaka nova generacija mobilnih mreža omogućila je razne inovacije u pogledu strukture, značajki, tehnologije i usluga koje su pružale. Na slici 3.1 prikazan je vremenski dijagram usluga komunikacijskih sustava od 1G do 5G. Primarni ciljevi koje su prethodne generacije komunikacijskih sustava nastojale ispuniti bili su veća brzina prijenosa i preuzimanja podataka, manja latencija mreže i uvođenje bržeg širokopojasnog interneta. Ono što 5G mrežu čini drukčijom od prethodnih generacija mobilnih mreža nije samo poboljšana brzina i veći kapacitet, već i znatno niža latencija koja povećava pouzdanost mreže. Još jedan važan cilj 5G mreže je proširenje mobilnih usluga izvan trenutnih internetskih usluga, te stvaranje novih tehnologija i napretka u brojnim područjima primjene poput automobilske industrije, zdravstva, umjetne inteligencije i Interneta stvari. 5G tehnologija omogućit će istovremeno povezivanje velikog broja različitih uređaja koji međusobno komuniciraju i na taj način olakšati razne svakodnevne poslove, navike i nadzor određenih sustava [1].



Slika 3.1. Evolucija komunikacijskih sustava [21]

3.1. Razlozi uvođenja 5G sustava

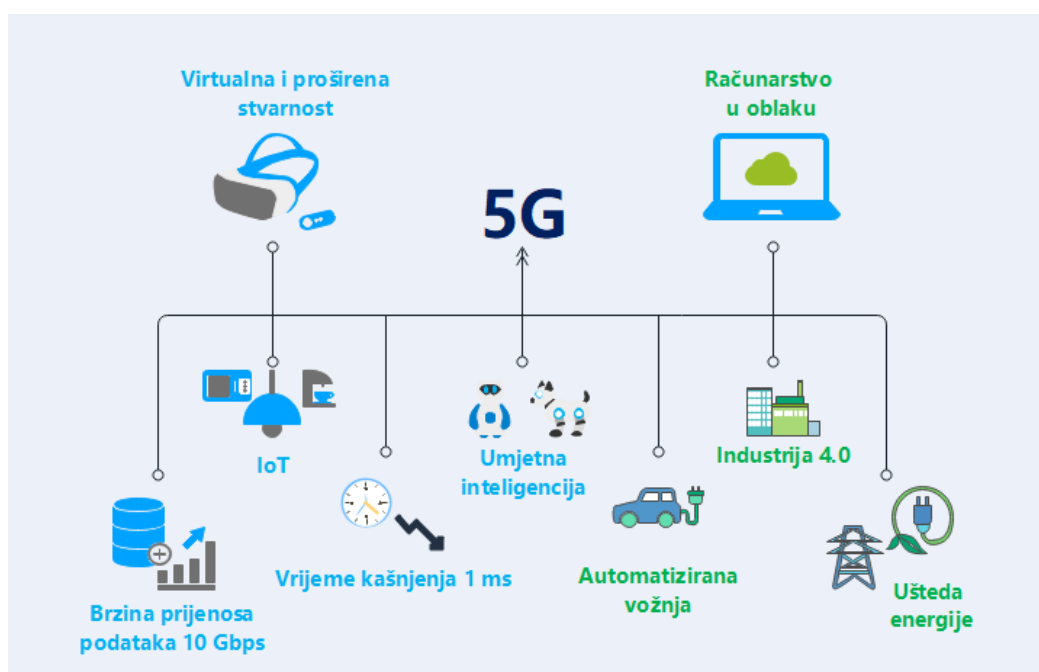
Glavni razlozi uvođenja nove generacije mobilnih mreža mogu se svesti na dva pokretača: povećan broj korisnika mobilne usluge (više mobilnih uređaja istovremeno spojenih na istu mrežu)

i razvoj tehnološki zahtjevnih slučajeva upotrebe (engl. *use cases*) za čije je funkcioniranje potrebna mreža koja ima naprednije performanse od prethodnih sustava.

Kvaliteta usluge (engl. *Quality of service* - QoS) ovisi o brojnim parametrima, a neki od njih su pokrivenost i dostupnost mreže i broj korisnika spojenih na mrežu. Poznato je kako na velikim događanjima poput utakmica ili koncerata dolazi do zagušenja mreže, koje ograničava mogućnosti korištenja internetskih usluga kao i slanje poruka ili uspostavu poziva. Do zagušenja mreže može doći i u malim domaćinstvima u kojima je više članova odjednom povezano na bežični Internet (engl. *Wi-Fi*). Također dolazi i do problema pokrivenosti mreže pa korisnici u udaljenim područjima često imaju problema sa "slabim internetskim signalom". Kako bi se ovi problemi razriješili neophodno je uvođenje nove (pete) generacije komunikacijskih sustava. Zbog brojnih ograničenja tehnologije prethodnih komunikacijskih sustava čak i proširenje mrežne infrastrukture ne bi moglo pomoći s problemima poput zagušenosti mreže. Kako bi se poboljšala kvaliteta života i nastavio ljudski razvoj posebno su bitni tehnološki napreci koji će omogućiti razne slučajeve upotrebe kao što su pametno zdravstvo, pametni gradovi i kuće, autonomna vozila, pametna proizvodnja i efikasna logistika. Nastanak i provedba tehnologija potrebnih za ovakva područja primjene ovisi o komunikacijskim uslugama te zahtijeva mrežnu infrastrukturu kakvu trenutna arhitektura mobilne mreže ne može omogućiti. Pojam "kvaliteta usluge" u prijašnjim generacijama mobilnih mreža najviše se vezao uz brzinu prijenosa, no 5G mreža će se morati fokusirati na druge mjere kvalitete usluge (poput latencije i pouzdanosti) i kombinacije tih mjera kako bi se navedeni slučajevi upotrebe u budućnosti mogli realizirati. Dakle, 5G tehnologija najviše će se koristiti u kritičnim područjima primjene u kojima je nužna velika pouzdanost i malo kašnjenje signala (latencija) mreže [22].

Brzina 5G mreže danas maksimalno iznosi 1,5 Gbps u silaznoj vezi i 150 Mbps u uzlaznoj vezi dok mreža radi na frekvencijama od 700 MHz, 3,6 GHz i 26 GHz. U budućnosti će brzine preuzimanja iznositi i do 10 Gbps. Navedena brzina ovisi o širini frekvencijskog pojasa, mobilnom uređaju, mrežnoj pokrivenosti, razini signala, broju uređaja istovremeno spojenih na mrežu, ali i o latenciji (što je latencija niža – brzina je viša). Latencija, ili vrijeme kašnjenja između naredbe i odgovora na naredbu, 5G mreže iznositi će 1 ms za posebne namjene, a stvarna prosječna vrijednost trenutno iznosi 21-26 ms. Niska latencija i visoka brzina čini 5G mrežu energetski efikasnijom od 4G mreže jer će se velik broj informacija moći obraditi u samoj mreži, a ne na krajnjem uređaju. Brži prijenos podataka u što kraćem vremenu uzrokuje energetsku štedljivost baterije. S ovako visokim brzinama i niskom latencijom film u trajanju od 2h moći će se preuzeti u samo 3,6s, rad na daljinu će se lakše izvoditi (udaljeni nadzor pacijenata, upravljanje udaljenim

strojevima i pogonima, dijagnostika), te će se omogućiti preciznija vremenska prognoza [23]. Razvit će se računarstvo u oblaku (engl. *cloud computing*), koje će omogućiti korištenje aplikacija bez potrebe za njihovim preuzimanjem. Umjetna inteligencija (engl. *Artificial Intelligence* - AI) postat će pouzdanija i prikladnija za upotrebu, a vozila će međusobno komunicirati kako bi se smanjila vjerojatnost od prometnih nesreća i općenitih gužvi u prometu. Internet stvari (engl. *Internet of Things* – IoT) i tehnologija stroj sa strojem (engl. *Machine – to- Machine* – M2M) također su bitni slučajevi upotrebe koji će omogućiti istovremeno povezivanje velikog broja uređaja na istu mrežu. Osim primjene 5G tehnologije na navedene slučajeve upotrebe, 5G mreža omogućit će i širokopojasni pristup svim korisnicima mreže pa tako i onima u udaljenim područjima, te će svi imati jednako kvalitetan pristup internetu. Bitne značajke i slučajevi upotrebe 5G mreže nalaze se na slici 3.2.[23].



Slika 3.2. Značajke 5G mreže

3.2. Usporedba 5G s prethodnim komunikacijskim sustavima

5G mreža razvija se postupno kroz nadogradnju već postojećih tehnologija poput LTE, LTE-A, M2M, Wi-Fi, OFDM i MIMO. 5G koristi neke frekvencije kao i 4G LTE, a to su radiofrekvencije od 600 MHz do 6 GHz. Dinamičko dijeljenje spektra (engl. *Dynamic Spectrum Sharing* - DSS) dopušta korištenje istog frekvencijskog pojasa i istovremeno korištenje 5G i 4G LTE usluga. Za razliku od 4G LTE mreže, 5G mreža koristi i frekvencijski pojas od 24 GHz do 86 GHz. Valovi iz frekvencijskog pojasa iznad 24 GHz nazivaju se milimetarskim valovima (engl.

mmWaves), a upravo te frekvencije omogućavaju visoke brzine prijenosa podataka i bolje performanse mreže. Nedostatak valova na tim frekvencijama je mal domet signala i činjenica da teško prolaze kroz zidove, prozore i druge slične površine. Kako bi se osigurala pokrivenost 5G mreže, grade se male bazne stanice ili pristupne točke kratkog dometa (engl. *Small Cells*). Navedene bazne stanice koriste tehnike poput oblikovanja zračenja (engl. *beamforming*) koje služe za usmjeravanje signala. 5G mreža također koristi metodu masivnih višeslojnih prijenosa (engl. *Massive Multiple Input – Multiple Output – Massive MIMO*). Ovo je metoda korištenja većeg broja antena kako bi se povećala energetska i frekvencijska učinkovitost. *Full duplex* je još jedna od metoda koja poboljšava kapacitet i efikasnost 5G mreže, tako što omogućava istovremeno slanje i primanje podataka na istoj frekvenciji. U tablici 3.1. prikazani su trenutno korišteni 5G radio frekvencijski pojasevi u usporedbi s pojasevima korištenim u 2G/3G/4G mrežama.

Frekvencijski pojas 700 MHz (694-790 MHz) koristi se u ruralnim i udaljenim područjima, dok se pojas 3,6 GHz (3,4 – 3,8 GHz) najčešće koristi u urbanim sredinama. Pojas 26 GHz (24,25 – 27,5 GHz) primarno će se koristiti za nepokretni bežični pristup (engl. *Fixed Wireless Access – FWA*) velikog kapaciteta [24].

Tablica 3.1. Radio frekvencijski pojasevi [24]

2G/3G/4G	5G
800 MHz	700 MHz
900 MHz	3,6 GHz
1800 MHz	26 GHz
2,1 GHz	
2,6 GHz	

Dok je 4G mreža imala stopu latencije 60 – 98 mili sekundi, 5G mreža će omogućiti latencije od samo nekoliko mili sekundi. Kao posljedica iznimno niske latencije, maksimalna brzina preuzimanja 5G mreže iznosit će 10 Gbps, što je deset puta više od 1 Gbps kojeg je dostizala 4G mreža. Osim toga, 5G mreža riješit će problem sa zagušivanjem mreže i omogućiti povezivanje većeg broja ljudi na mrežu jer ima puno veći kapacitet od 4G mreže. Ostale ključne razlike između svih komunikacijskih sustava nalaze se u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Usporedba komunikacijskih sustava [13, 25]

Značajke	1G	2G	3G	4G	5G
Godina uvođenja	1980	1990	2000	2010	2020
Brzina	2Kbps(silazna veza)	384Kbps (silazna veza)	56Mbps (silazna veza)	1Gbps (silazna veza)	10Gbps(silazna veza)
Latencija	>1000 ms	629 ms	212 ms	60-98 ms	< 1 ms
Tehnologija	AMPS, NMT, TACS	GSM	UMTS	LTE, WiMax	MIMO, mm Valovi
Tehnika pristupa	FDMA	TDMA/CDMA	CDMA	OFDMA, SCFDMA	OFDM, BDMA
Internet	Ne pruža internet	Uskopojasni	Širokopojasni	Ultra širokopojasni	Wireless World Wide Web(WWW)
Osnovna(jezgrena) mreža	PSTN	PSTN	Paketna mreža	Internet	Internet
Prednosti	Pokretnost analognih telefonskih poziva	Multimedijske značajke (SMS,MMS), Internet, SIM	Visoka sigurnost, internacionalni roaming	Brzina, visoke brzine primopredaje, globalna mobilnost	Ekstremno visoke brzine, niska latencija
Usluge	Glasovni pozivi	Glasovni pozivi, kratke poruke	Video konferencije, GPS, mobilni TV	Aplikacije visokih brzina, mobilni TV, nosivi uređaji	Video streaming, daljinsko upravljanje robotima, autonomnim vozilima...

3.3. Izazovi za 5G komunikacijski sustav

Izazovi su prirodni dio razvoja novih tehnologija pa se tako i 5G sustav susreće s operativnim izazovima kao što su postavljanje, pokretanje, testiranje i podrška mreže. Izazove 5G sustava možemo podijeliti u dvije kategorije : tehnički i ne-tehnički (društveni, financijski, regulacijski) izazovi. U tehničke probleme pak spadaju poteškoće s projektiranjem sklopova, uređaja i antena za milimetarske valove, izazovi s komunikacijom uređaja s uređajem (engl. *Device-to-Device* – D2D) i prijenosnim mrežama, te sigurnosni problemi i rizici [26].

Milimetarski valovi, *mmWaves*, skupni je naziv za valove na visokim frekvencijama u rasponu od 30 do 300 GHz. Poznato je kako je domet signala kraći što je frekvencija veća pa tako milimetarski valovi ne mogu putovati daleko i ne mogu se prenositi preko klasičnih baznih postaja koje se koriste za prijenos valova niskih i srednjih frekvencija. Milimetarski valovi također imaju poteškoća s prolaskom kroz zidove, drvo, beton i staklo, te njihov prijenos mogu omesti i sami ljudi. Kako bi se omogućio prikladan prijenos valova visokih frekvencija grade se nove postaje za prijenos signala kao što su aktivne antene (engl. *Active Antena Unit* – AAU) koje omogućavaju visok kapacitet i pokrivenost mreže u udaljenim naseljenim područjima. Mikro stanice i stanice na stupovima i svjetiljkama primjer su malih baznih stanica koje pokrivaju vanjske prostore i još se grade male bazne stanice za pokrivanje zatvorenih prostora milimetarskim valovima. Implementacija ovakve tehnologije stvara velike troškove i dovodi u pitanje ekonomsku isplativost. Mreže koje počinju koristiti 5G usluge su mreže širokog područja male snage (engl. *Low Power Wide Area Network* – LPWAN), uskopojasni Internet stvari (engl. *Narrowband IoT* – NB-IoT) i LTE-M [27,28].

D2D komunikacija predstavlja komunikaciju između korisničkih uređaja – mobilnih telefona ili vozila, pri čemu mrežna infrastruktura kao što su bazne stanice ne moraju biti uključene u komunikaciju. Ova tehnologija trebala bi povećati mrežni kapacitet i omogućiti pouzdanije povezivanje uređaja. Upravo D2D komunikacija igrati će veliku ulogu u osposobljavanju sigurnih autonomnih vozila. Prvi problem ovakve komunikacije je nepostojanje središnjeg tijela ili operatora za kontrolu i ograničavanje smetnji i pružanje potrebnih resursa. Komunikacija prijašnjih sustava bila je osigurana uz pomoć kodiranja prenesenih informacija. Informacija se mogla dekodirati samo uz pomoć ključa, čija se distribucija odvijala preko bazne stanice ili neke pouzdane treće strane. Kako se D2D komunikacija odvija izravno između korisnika bez uplitanja mreže, ključ će biti teže podijeliti na siguran način. D2D komunikacija također može uzrokovati prijenos osobnih podataka na druge uređaje, što predstavlja drugi problem vezan uz sigurnost i zadiranje u privatnost korisnika [29,30].

Prijenosna mreža (engl. *backhaul network*) je vrsta satelitske mreže koja povezuje radijsku pristupnu mrežu s jezgrenom mrežom, a sastoji se od optičkih vlakana, mikrovalova, satelita i bakra. Prijenosne mreže bitne su za povećanje kapaciteta 5G mreže, ali razvijanje prijenosnih mreža za male bazne stanice stvara veliki izazov za operatore. Izazov nastaje jer u brojnim područjima nema raspoloživih optičkih mreža potrebnih za ostvarivanje mreže s niskom latencijom i visokom brzinom prijenosa podataka [26].

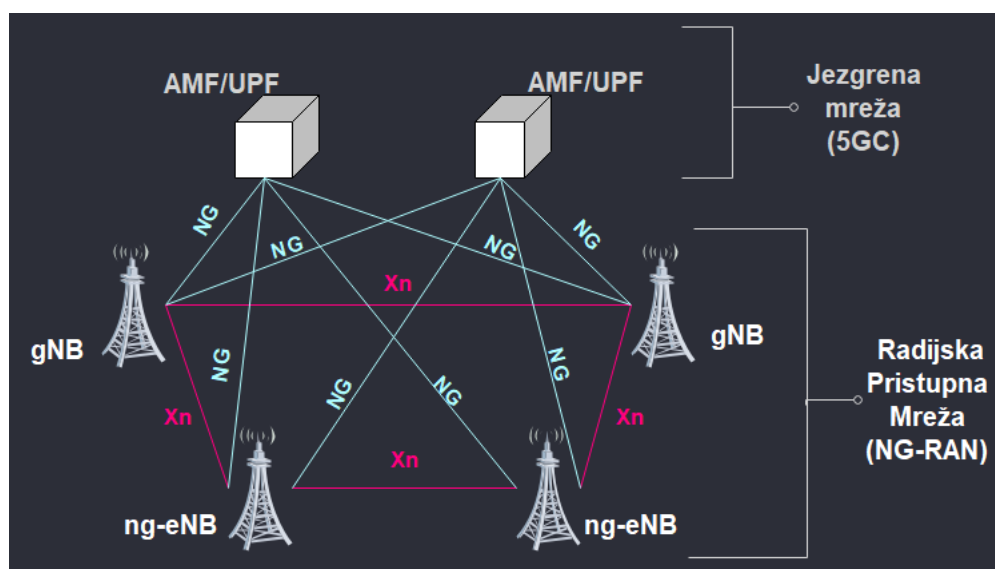
Javljaju se i brojni sigurnosni rizici vezani uz samu infrastrukturu i virtualizaciju mreže, ali i rizici koje donose određeni slučajevi upotrebe poput IoT-a. Na IoT aplikacije istovremeno može biti povezano više uređaja i korisnika koji međusobno razmjenjuju podatke i informacije. Kako IoT uređaji i aplikacije nastavljaju prikupljati i koristiti naprednije podatke, raste i rizik od neovlaštenog pristupa. Primjer sigurnosnog problema koji se nameće kao posljedica široke upotrebe IoT aplikacija je mreža računala zaraženih štetnim ili zlonamjernim softverom (engl. *malware*) koja su pod kontrolom jedne napadačke strane, poznate kao "*bot-herder*". Navedena mreža naziva se *botnet* (skraćenica od "*robot network*"). *Botneti* se mogu koristiti za izvođenje distribuiranih napada uskraćivanja usluge (engl. *Distributed Denial-of-Service* - DDoS), krađu podataka, slanje neželjene pošte, financijske povrede i sl. Postoji mogućnost da će *botneti* rasti proporcionalno s povećanjem povezanih korisnika. Kako bi se mreža osigurala uvode se neki novi sigurnosni mehanizmi poput šifriranja identiteta međunarodnih mobilnih pretplatnika (engl. *International Mobile Subscriber Identities* - IMSIs), *end-to-end* enkripcija ukupnog mrežnog prometa i provjera autentičnosti [31].

4. ARHITEKTURA 5G MREŽE

5G sustav se kao i sustavi prethodnih generacija sastoji od dvije mrežne domene, a to su radijska pristupna mreža i jezgrena mreža. Navedene domene modificirane su kako bi omogućile heterogenu mrežu s više tehnologija radijskog pristupa, nove frekvencijske pojaseve, napredne tehnike upravljanja spektrom i različite vrste usluga za veliki broj različitih uređaja. Radijska pristupna mreža (engl. *Radio Access Network* - RAN) u 5G sustavu naziva se RAN sljedeće/nove generacije (engl. *Next Generation – RAN* – NG-RAN) , a predstavlja mrežu između korisničke opreme (engl. *User Equipment* – UE) i jezgrene mreže. Jezgrena mreža ili 5G jezgra (engl. *5G Core* – 5GC) središnji je dio 5G mrežne arhitekture kojem korisnici ili uređaji pristupaju putem radijske pristupne mreže. Također se naziva i 5G jezgra sljedeće/nove generacije (engl. *Next Generation Core* – NG-Core). 5G mreža koristi novo 5G radijsko sučelje – Novi Radio (engl. *5G New Radio* – 5G NR) kako bi se omogućile napredne tehnike za ostvarivanje 5G usluga. Ove tehnike uključuju masivni MIMO, dinamičko dijeljenje spektra, oblikovanje dijagrama zračenja itd. 5G jezgrena mreža također koristi tehnike koje utječu na dizajn arhitekture 5G mreže poznate kao virtualizacija mrežnih funkcija (engl. *Network Functions Virtualisation* – NFV) i programsko upravljanje mrežom (engl. *Software Defined Networking* – SDN) [32].

4.1. 3GPP arhitektura 5G mreže

5G sustav definiran je kao 3GPP sustav koji se sastoji od 5G pristupne mreže (engl. *Access Network* – AN) , 5G jezgrene mreže (5GC) i korisničke opreme (UE). Na slici 4.1. prikazana je sveukupna arhitektura mreže.



Slika 4.1. Arhitektura 5G mreže [32]

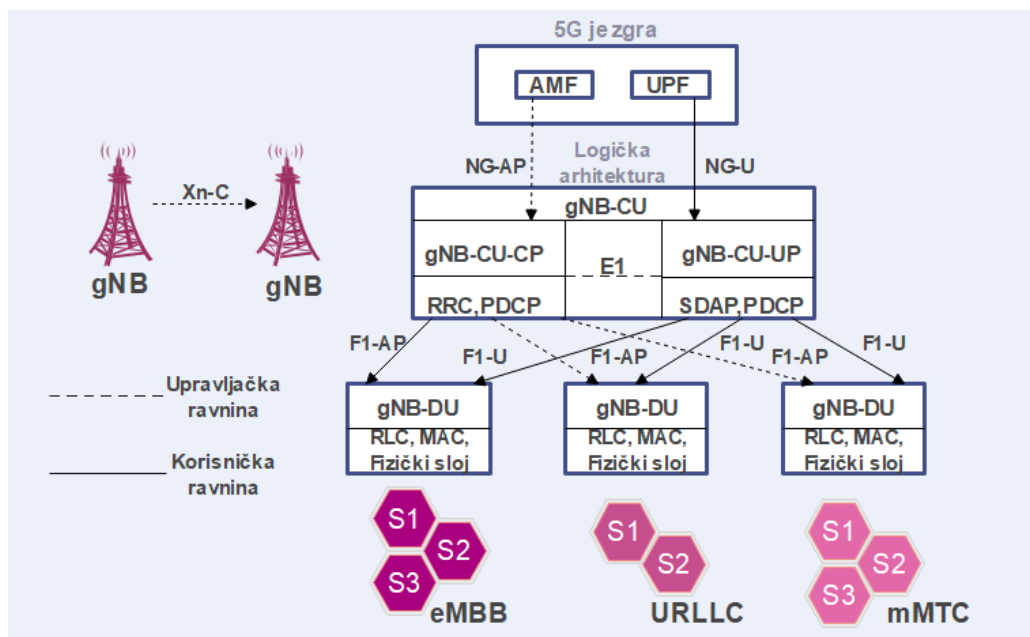
NG-RAN sastoji se od dva čvora : *gNB* (engl. *next Generation Node B* – *gNB*) i *ng-eNB* (engl. *next generation – evolved Node B* – *ng-eNB*). *gNB* predstavlja novu baznu stanicu za radijsko sučelje 5G NR i služi NR korisničkoj opremi za pristup jezgri mreže. NR korisnička oprema osim mobilnih telefona i računala uključuje i automobile, dronove, razne strojeve, robote, vojnu i medicinsku opremu i slično. *ng-eNB* služi za povezivanje LTE korisničke opreme. Oba čvora korisničkoj opremi pružaju usluge upravljačke i podatkovne ravnine preko *Uu* (NR) radio sučelja. Čvorovi NG-RAN-a međusobno su povezani sučeljem X_n , sličnom sučelju X_2 koje se koristi u LTE E-UTRAN mreži. Signalizacijske poruke upravljačke ravnine u X_n sučelju nazivaju se *Xn - Aplikacijski protokol* (engl. *Xn-Application Protocol* – *Xn-AP*). Korisnička ravnina X_n sučelja (*Xn-U*) upravlja funkcijama za prijenos podataka, kontrolu toka i slično.

5GC ili 5G jezgrena mreža provodi sesiju podatkovne jedinice za protokol (engl. *Protocol Data Unit Session* – *PDU Session*). Sesija predstavlja vezu između dva uređaja koji međusobno komuniciraju i razmjenjuju podatke, a često se odnosi i na vremenski okvir unutar kojeg je određena komunikacija moguća. Putem *PDU* sesije osigurava se komunikacija s kraja na kraj (engl. *end-to-end* – *E2E*) između korisničke opreme i podatkovne mreže (poput interneta). 5G jezgrena mreža također obavlja ovjeru autentičnosti korisničke opreme i upravljanje mobilnošću i roamingom. Za ostvarivanje komunikacijskih usluga 5GC koristi određene mrežne funkcije tj. entitete poput funkcije za upravljanje pristupom i mobilnošću (engl. *Access and Mobility Management Function* – *AMF*) , funkcije za korisničku ravninu (engl. *User Plane Function* – *UPF*) i funkcije za upravljanje sesijom (engl. *Session Management Function* – *SMF*). 5GC koristi tehniku virtualizacije mrežnih funkcija (*VFN*) koja je ključna u postupku raslojavanje mreže (engl. *network slicing*). Ovaj postupak omogućava postojanje više logičkih mreža ili mrežnih slojeva u istoj fizičkoj infrastrukturi mreže.

Logičko sučelje NG povezuje čvor *gNB* i jezgrenu mrežu. NG sučelje, još poznato kao *N2* referentna točka , podržava funkcije za prijenos unutar radio pristupne tehnologije i razmjenu signalizacijskih poruka između korisničke opreme i funkcije za upravljanje pristupom i mobilnošću (*AMF*) u mrežama koje imaju nesamostalnu arhitekturu (engl. *Non-Stand Alone* - *NSA*). 5G NSA arhitektura sastoji od 5G radijske pristupne mreže i 4G jezgrene mreže. Ovakva mreža predstavlja samo prijelazno rješenje prije uvođenja samostalne 5G SA (engl. *Stand Alone* - *SA*) mreže. Signalizacijske poruke NG sučelja koje putuju upravljačkom ravinom nazivaju se NG – Aplikacijski Protokol (engl. *NG-Application Protocol* – *NG-AP*). NG korisnička ravnina prenosi podatke između *gNB* čvora i funkcije za korisničku ravninu (*UPF*) [32].

4.2. Arhitektura radijske pristupne mreže sljedeće generacije (NG-RAN)

Radijska pristupna mreža (RAN) sastoji se od antena, radija, osnovnog pojasa i RAN softvera, a koristi dvosmjerni način rada *duplex* s frekvencijskom podjelom (engl. *Frequency Division Duplex* – FDD) [33]. Na slici 4.2. nalazi se logička arhitektura radijske pristupne mreže 5G mreže i njenih čvorova te slučajeva upotrebe.



Slika 4.2. Logička arhitektura NG-RAN/gNB [32]

Za razliku od LTE čvora eNodeB koji nema logičke jedinice za upravljanje određenim funkcijama preko radijskog sučelja, čvor gNB ima razdvojenu logičku arhitekturu s logičkim čvorovima koji koriste novo radijsko sučelje za komunikaciju između korisničke opreme i jezgre mreže. Slojevni protokoli 5G NR sučelja podijeljeni su u dva logička čvora : gNB centralizirana jedinica (engl. *gNB-Centralised Unit* – gNB-CU) i gNB distribuirana jedinica (engl. *gNB Distributed Unit* -gNB-DU). gNB-CU čvor još se dijeli na dva entiteta : gNB-CU upravljačka ravnina (engl. *gNB-Centralised Unit - Control Plane* - gNB-CU-CP) i gNB-CU korisnička ravnina (engl. *gNB-Centralised Unit - User Plane* - gNB-CU-UP) [32].

gNB-CU-CP logički čvor koji se sastoji od sloja protokola za kontrolu radijskog izvora (engl. *Radio Resource Control* – RRC) i upravljačke ravnine sloja protokola konvergencije paketnih podataka (engl. *Packet Data Convergence Protocol* – PDCP), upravlja signalizacijskim funkcijama NR sučelja za upravljanje mrežom i uslugama. Samo jedan logički čvor gNB-CU-CP može se nalaziti unutar NG-RAN/gNB logičke arhitekture [32].

gNB-CU-UP logički čvor koji se sastoji od sloja protokola prilagodbe podataka usluge (engl. *Service Data Adaption Protocol* – SDAP) i korisničke ravnine PDCP sloja, upravlja funkcijama korisničke ravnine za obradu i prijenos korisničkih informacija. U NG-RAN/gNB arhitekturi može se nalaziti više od jednog gNB-CU-UP čvorova [32].

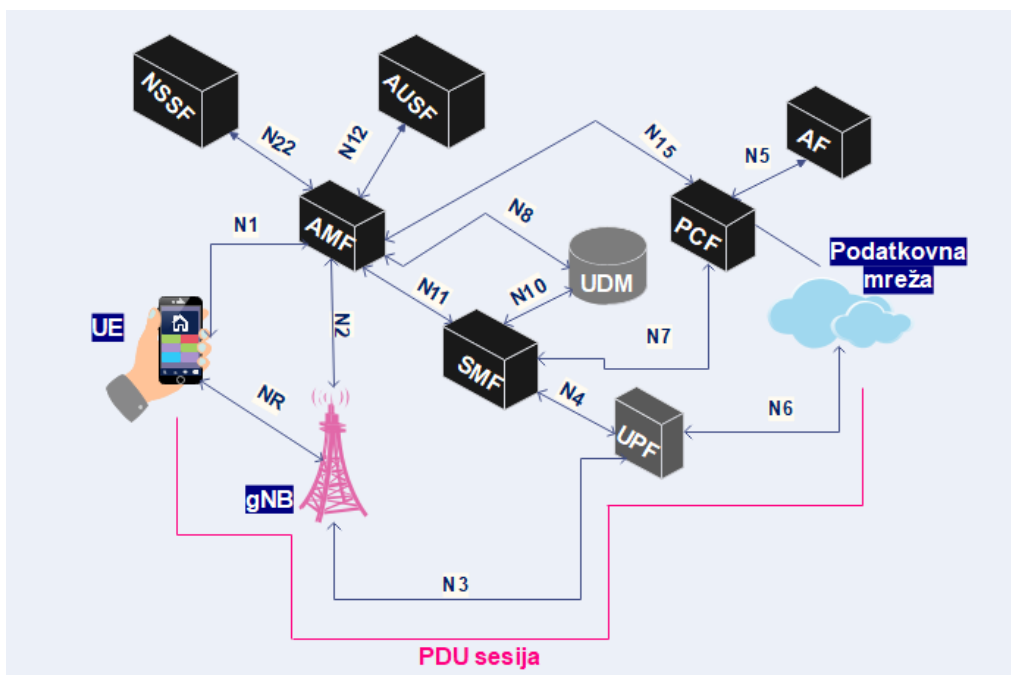
gNB-DU čvor sastoji se od sloja za upravljanje radijskom vezom (engl. *Radio Link Control* – RLC), srednjeg sloja kontrole pristupa (engl. *Medium Access Control* – MAC) i fizičkog sloja. Više ovakvih čvorova može se nalaziti u NG-RAN/gNB arhitekturi. Glavna značajka gNB-DU logičkog čvora je komunikacija s korisničkom opremom i upravljanje funkcijama za prijenos, prijem i po potrebi ponovni prijenos informacija preko NR sučelja [32].

Logički čvorovi NG-RAN/gNB arhitekture međusobno komuniciraju putem F1 i E1 sučelja. F1 sučelje podržava korisničku i upravljačku ravninu, dok E1 sučelje podržava samo upravljačku ravninu. F1 sučelje omogućava komunikaciju između gNB-CU i gNB-DU čvorova i preko upravljačke ravnine prenosi poruke aplikacijskog protokola (F1-AP) između gNB-CU-CP i gNB-DU čvorova, a preko korisničke ravnine prenosi poruke između gNB-CU-UP i gNB-DU čvorova pomoću NR protokola korisničke ravnine. E1 sučelje održava komunikaciju između gNB-CU-CP i gNB-CU-UP čvorova, prenoseći signalizacijske informacije kao poruke aplikacijskog protokola (E1-AP) [32].

Ovakva logička arhitektura s navedenim logičkim čvorovima i sučeljima omogućava 5G mreži ostvarenje usluga slučajeva upotrebe pomoću tehnike raslojavanja mreže.

4.3. Arhitektura jezgrene mreže sljedeće generacije (NG – 5GC)

Jezgra sljedeće generacije (engl. *NG-Core*) sadrži skup funkcionalnih blokova zaduženih za osiguravanje kvalitetne usluge za mobilne korisnike. NG-C identificira mobilne korisnike, prati njihovu mobilnost i održava njihovu internetsku povezanost. Arhitektura jezgrene mreže nalazi se na slici 4.3.



Slika 4.3. Arhitektura 5G jezgrene mreže[34]

PDU sesija u 5G jezgrenoj mreži predstavlja povezanost korisničke ravnine koja povezuje korisničku opremu sa podatkovnom mrežom preko gNB čvora i funkcije korisničke ravnine (engl. *User Plane Function* – UPF). Unutar PDU sesije nalaze se odvojeni tokovi kvalitete usluge (engl. *QoS Flows*) koji osiguravaju samu kvalitetu usluge (QoS). Unutar PDU sesije mogu se nalaziti različiti QoS zahtjevi pa stoga postoji više QoS tokova u uporabi. Svaki QoS tok predstavlja tok prometa korisničke ravnine koji zaprima određeni postotak kvalitete usluge, a kako bi ih razlikovali svakom QoS toku dodijeljena je QoS identifikacija (engl. *QoS Flow ID*). PDU sesija omogućava QoS karakteristike poput latencije i brzine prijenosa podataka, a ovisno o QoS zahtjevima prometa korisničke ravnine QoS tokovi mogu se dodavati ili ukloniti. Svi ostali elementi arhitekture 5G mreže dizajnirani su kako bi održavali PDU sesiju aktivnom za sve korisnike, neovisno o njihovoj mobilnosti i položaju u mreži [35].

Funkcija provjere autentičnosti servera (engl. *Authentication Server Function* – AUSF) i funkcija jedinstvenog upravljanja podacima (engl. *Unified Data Management* – UDM) predstavljaju funkcije za upravljanje pretplatnicima (korisnicima).

AUSF vrši provjeru autentičnosti za 3GPP i ne-3GPP pristup, te se povezuje s UDM i AMF entitetom i omogućava im određene usluge vezane uz provjeru autentičnosti. AUSF se s UDM/AMF entitetom povezuje preko sučelja orijentiranog na usluge (engl. *Service-Based Interface* – SBI) [36].

Jedinstveno upravljanje podacima (engl. *Unified Data Management* – UDM) funkcijski je blok koji predstavlja središnju bazu korisničkih podataka. U korisničkoj bazi podataka nalaze se sakupljene informacije o korisniku tj. korisnički profil. UDM upravlja podacima vezanim uz autentifikaciju krajnjih uređaja te je na taj način uključen u autorizaciju pristupa podatkovnoj mreži, identifikaciju i registraciju pretplatnika i upravljanje pretplatama [35].

Jedinstveni repozitorij podataka (engl. *Unified Data Repository* – UDR) predstavlja bazu ključnih podataka poput podataka o pretplati i podataka o mrežnim i korisničkim pravilima

Funkcija za upravljačku ravninu sastoji se od funkcije za upravljanje pristupom i mobilnošću jezgre (engl. *Core Access and Mobility Management Function* – AMF), funkcije za upravljanje sesijom (engl. *Session Management Function* – SMF), funkcije za kontrolu pravila (engl. *Policy Control Function* – PCF) i funkcije za odabir mrežnog rasloja (engl. *Network Slice Selection Function* – NSSF).

AMF entitet koristi funkciju za odabir mrežnog rasloja (engl. *Network Slice Selection Function* – NSSF) koja na osnovu parametara i pretplate korisničke opreme odabire dio mrežne arhitekture koji će ispuniti zahtjeve za određene usluge korisničke opreme. Na ovaj način NSSF pomaže AMF entitetu pružajući mu dopuštene informacije o odabiru mrežnog rasloja (engl. *Allowed Network Slice Selection Assistance Information* – Allowed NSSAI) [34].

Funkcija za upravljanje pristupom i mobilnošću jezgre (engl. *Core Access and Mobility Management Function* – AMF) upravlja s mobilnošću, registracijom i sigurnošću korisnika. S korisničkom opremom i radijskom pristupnom mrežom povezan je preko N1 i N2 sučelja, a sa svim ostalim funkcijskim blokovima povezan preko SBI sučelja. AMF nadzire mobilnost korisnika i prati područje u kojem se korisnik nalazi ili na koju baznu stanicu je korisnik povezan. U 4G LTE mreži za ovu funkciju bio je zaslužan entitet MME, ali za razliku od MME entiteta AMF ne upravlja sesijom. AMF također ovjerava tj. identifikira korisnika uz pomoć AUSF entiteta, pružajući mu privremeni identifikator (ID) i odlučuje je li korisniku dozvoljen pristup mreži [35].

Funkcija za upravljanje sesijom (engl. *Session Management Function* – SMF) komunicira s funkcijom za kontrolu pravila mreže (engl. *Policy Control Function* – PCF) o profilu podatkovne mreže (engl. *Data Network Profile*), odabire potrebnu funkciju korisničke ravnine (engl. *User Plane Function* – UPF) za prijenos podataka i dodjeljuje IP adrese podacima sesije. SMF je direktno povezan s PDU sesijom tako što odlučuje o njezinoj uspostavi, modifikaciji ili prekidu. Preko N4 sučelja SMF bira i upravlja određenim UPF mrežnim funkcijama. SMF unutar UPF

funkcije postavlja parametre koji upravljaju prometom podataka i osiguravaju odgovarajuće usmjeravanje podataka kroz mrežu. Uz pomoć PCF funkcije SMF određuje koji podaci su sigurni za prijenos do podatkovne mreže, a ako su ti podaci bazirani na nekoj IP adresi SMF im dodjeljuje IPv4 ili IPv6 adresu [35].

Funkcija korisničke ravnine (engl. *User Plane Function* – UPF) predstavlja središnji položaj ili sidrišnu točku za mobilnost radijske pristupne mreže čija je glavna funkcija obrada i prosljeđivanje korisničkih podataka. SMF upravlja svim postupcima UPF mrežne funkcije. Dok podaci unutar radijske pristupne mreže putuju s jednog gNB čvora na drugi, UPF ostaje sidrišna točka u mreži. Zbog ovoga će korisnička ravnina uvijek putovati od gNB čvora do UPF entiteta. UPF se nalazi na korisničkoj ravnini i zbog toga je idealna funkcija za raspodjelu prometa podataka kroz odgovarajuće QoS tokove. UPF također igra ulogu u provedbi odgovarajućih mrežnih pravila kroz analizu i ispitivanje sadržaja različitih korisničkih podatkovnih paketa, a obavlja i funkcije preusmjeravanja prometa i ograničavanje brzine prijenosa podataka [35].

Funkcija za kontrolu pravila (engl. *Policy Control Function* – PCF) donosi dinamičke odluke na osnovu uvjeta pristupa mreži ili nekih aktivnih stanja u mreži. Navedena pravila mogu se odnositi na način upravljanja podacima unutar mreže, naplaćivanje naknada te određena dopuštenja vezana uz pristup uslugama i dodjelu kvalitete sesije. PCF može izravno utjecati na usluge vezane uz mobilnost korisnika i kvalitetu usluge PDU sesije. Prije nego što SMF prilagodi određenu PDU sesiju, PCF šalje informacije o stanjima u mreži koja mogu utjecati na korisničko iskustvo i kvalitetu usluge unutar te PDU sesije. Npr. ako se korisnik nalazi na nekoj nepovoljnoj geografskoj lokaciji, PCF odlučuje hoće li korisniku biti dozvoljen pristup mreži. PCF funkcija također pomoću interakcije s AMF i UDR funkcijom određuje tehnologiju koju korisnik može koristiti za radijski pristup [35].

Osim logičke arhitekture prikazane na slici 4.3. , 3GPP uvodi proširenu arhitekturu temeljenu na uslugama (engl. *Service Based Architecture* – SBA) u kojoj su predstavljene dvije dodatne funkcije – funkcija mrežnog repozitorija (engl. *Network Repository Function* – NRF) i funkcija mrežne izloženosti (engl. *Network Exposure Function* – NEF).

NRF predstavlja repozitorij svih elemenata ili jedinki 5G mreže i sadržava sve usluge koje ti pojedini elementi pružaju. NRF podržava i određene mehanizme za otkrivanje, koji omogućavaju elementima međusobnu komunikaciju i uvid u status svakog elementa. Kroz navedene usluge upravljanja i otkrivanja NRF povezuje i komunicira sa svim elementima 5G mreže [37].

NEF funkcija prima informacije od drugih mrežnih funkcija na osnovu njihovih izloženih sposobnosti. Pomoću standardiziranog sučelja za funkciju pohrane podataka, NEF može pohraniti primljene informacije te ih ponovno izložiti drugim mrežnim funkcijama za sigurno korištenje [34].

4.4. Raslojavanje mreže

Raslojavanje mreže princip je virtualizacije mreže u kojoj se mreža dijeli na više logičkih mreža odnosno mrežnih rasloja, koji dijele zajedničku fizičku infrastrukturu mreže. Mrežni rasloj predstavlja logičku mrežu s kraja na kraj (engl. *end-to-end*) s određenim značajkama koje omogućuju pružanje različitih usluga 5G mreže. Svaki mrežni rasloj fizički je odvojen i neovisan te je usmjeren na različite usluge sa specifičnim zahtjevima kao što su poboljšani širokopojasni pristup (engl. *enhanced Mobile Broadband – eMBB*), visoko pouzdana komunikacija malog kašnjenja (engl. *Ultra – Reliable and Low - Latency Communications – URLLC*) i masovna komunikacija uređaja (engl. *Massive Machine - Type Communication – mMTC*). Svrha ovakvog odvajanja i izolacije mrežnih prometnih tokova je omogućavanje maksimalnog iskorištenja mrežnih resursa te povećanje sigurnosti i fleksibilnosti usluga koje nudi 5G [32].

Mrežni rasloj sastoji se od radijske pristupne mreže i jezgrene mreže. Određeni mrežni rasloj identificira se prema parametru S-NSSAI, koji se dijeli na još dva parametra SST i SD. Parametar S-NSSAI predstavlja informacije koje pomažu za odabir jedinstvenog mrežnog rasloja. Parametar SST predstavlja tip usluge koju nudi rasloj dok parametar SD služi za grupiranje/razlikovanje rasloja istog tipa. Radijska pristupna mreže će na osnovu S-NSSAI parametra odabrati AMF funkciju koja će određenom uređaju pružiti usluge ili sama stvoriti novi mrežni rasloj za pružanje potrebnih usluga. Za stvaranje novog mrežnog rasloja AMF može koristiti i NSSF funkciju. Neki mrežni resursi biti će dodijeljeni jednom zasebnom rasloju, dok će se neki resursi dijeliti između više rasloja. Jezgrena mreža omogućit će uređaju povezivanje na više različitih mrežnih rasloja istovremeno [35].

Noviji koncepti za virtualizaciju mrežnih funkcija uključuju programsko upravljanje mrežom (engl. *Software- Defined Networking - SDN*) i virtualizaciju mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualisation – NFV*).

NFV i SDN koriste princip mrežne apstrakcije. Dok SDN odvaja mrežne funkcije prosljeđivanja od kontrolnih mrežnih funkcija, NFV odvaja mrežne funkcije iz hardvera. NFV nastoji zamijeniti usluge koje pruža vlasnički hardver s virtualiziranim softverom, te uređaje poput usmjerivača, vatrozida i poslužitelja za balansiranje opterećenja zamijeniti razvijenim softverskim

aplikacijama. Na taj način provodi se virtualizacija mrežnih usluga koje su prikazane kao virtualni strojevi na standardnom hardveru. Poslužitelji usluga moći će pokretati mrežne funkcije na standardnom hardveru umjesto na vlasničkom te će se više funkcija moći izvoditi na jednom poslužitelju. NFV arhitektura sastoji se od virtualiziranih mrežnih funkcija (engl. *Virtualized network functions* - VNFs), infrastrukture za virtualizaciju mrežnih funkcija (engl. *Network functions virtualization infrastructure* - NFVi) i dijela za upravljanje i automatizaciju mreže (engl. *Management, automation and network orchestration* - MANO) [38].

Odvajanjem mrežnih funkcija prosljeđivanja od kontrolnih mrežnih funkcija, SDN izdvaja fizičke mrežne resurse i donošenja odluka premješta na kontrolnu ravninu virtualizirane mreže. Kontrolna ravnina određuje kamo poslati promet, dok hardver nastavlja upravljati usmjeravanjem i regulacijom prometa. NFV pruža infrastrukturu virtualiziranih mrežnih funkcija koje SDN dalje kontrolira i prilagođava za određene usluge. SDN unutar NFV infrastrukture prenosi podatkovne pakete s jednog uređaja na drugi, dok se SDN upravljačke funkcije za usmjeravanje i mrežna pravila provode unutar virtualnog stroja u mreži. Iako SDN i NFV obavljaju različite uloge pri definiranju mrežne arhitekture, mogu se koristiti zajedno i na taj način mrežu učiniti fleksibilnijom i omogućiti efikasnije korištenja resursa i usluga [39].

5. SLUČAJEVI UPOTREBE 5G MREŽE

Slučajevi upotrebe ili korištenja prethodnih generacija mobilnih komunikacijskih sustava svode se na pružanje brzih širokopojasnih usluga putem mobilnih uređaja, međutim pojavljuju se novi slučajevi upotrebe koji za ostvarenje naprednijih usluga trebaju novu arhitekturu mobilne mreže. Slučajevi upotrebe čije će usluge omogućiti 5G mreža nuditi će pouzdanu komunikaciju s niskom latencijom što će ubrzati razvoj industrijske automatizacije, umjetne inteligencije, komunikaciju između vozila i virtualnu/proširenu stvarnost. Osim toga, poboljšat će mobilne širokopojasne usluge na specifičnim lokacijama kao što su velika javna događanja i podržavati veliki broj uređaja unutar određenog područja kao što su mjerni instrumenti i bespilotni zrakoplovi [22].

5.1. Zahtjevi 5G mreže

Slučajevi upotrebe 5G mreže mogu se podijeliti u tri tipa usluga prema određenim zahtjevima za kvalitetu usluge. Ova tri tipa usluga čine : poboljšani širokopojasni pristup (engl. *enhanced Mobile Broadband* – eMBB) , visoko pouzdana komunikacija malog kašnjenja (engl. *Ultra – Reliable and Low - Latency Communications* – URLLC) i masovna komunikacija uređaja (engl. *Massive Machine - Type Communication* – mMTC) [22].

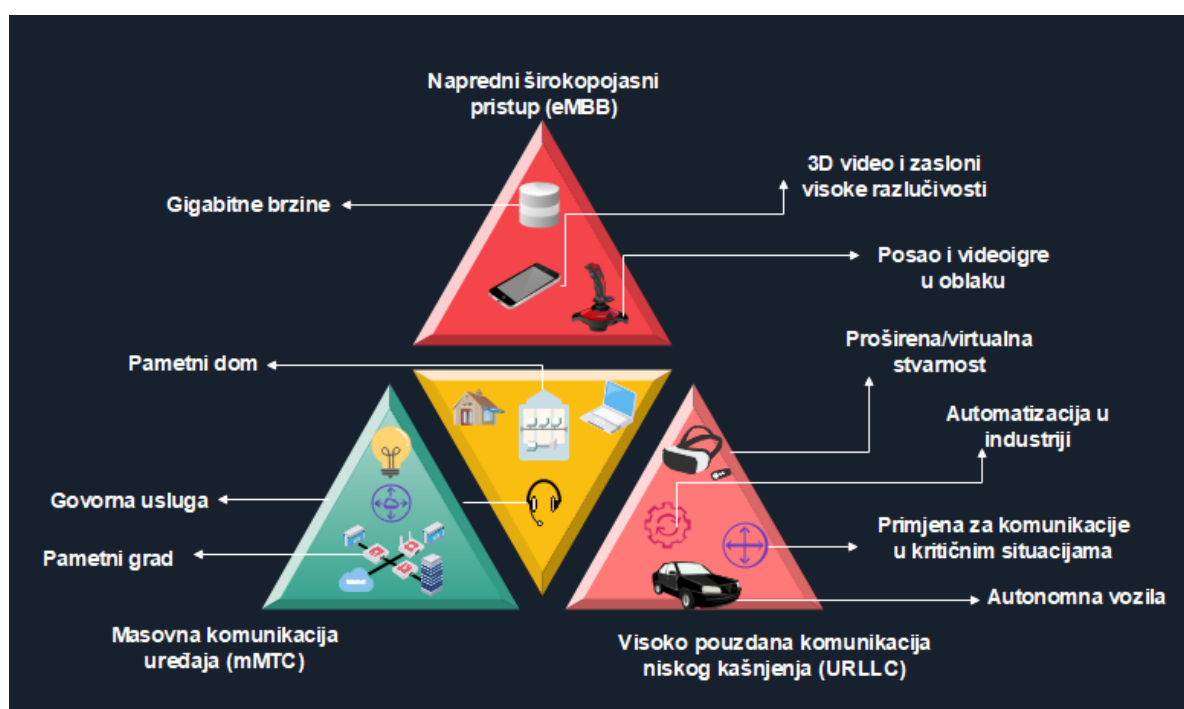
Povećanjem broja mobilnih uređaja koji koriste mrežne usluge, raste i potražnja za poboljšanim uslugama širokopojasnog interneta. eMBB usluge za cilj imaju ostvariti potpunu globalnu pokrivenost, a mogu se podijeliti na širokopojasni pristup na prezasićenim lokacijama (stadioni, arene, trgovački centri), širokopojasni pristup na udaljenim ruralnim lokacijama i urbanim mjestima te širokopojasni pristup u vozilima visoke pokretljivosti (poput zrakoplova i brzih vlakova). Primjer širokopojasnog pristupa koji se danas koristi u vozilima visoke pokretljivosti je Europska zrakoplovna mreža (engl. *European Aviation Network* – EAN). Širokopojasni pristup na prezasićenim lokacijama zahtjeva veću gustoću prometa i povezanosti, dok preostala dva pristupa zahtijevaju što veće brzine prijenosa podataka. Neki od primjera eMBB slučajeva upotrebe su proširena/virtualna stvarnost, sigurnost i video nadzor, internetski prijenos videa, distribucija sadržaja i sustavi prisutnosti na daljinu [40,41].

Visoko pouzdana komunikacija niskog kašnjenja će najveći utjecaj imati u primjenama u kojima je nužna latencija manja od 1 ms. URLLC značajke će podržavati usluge kao što su automatizirana vožnja, pametni elektroenergetski sustav, industrijska automatizacija, kirurške operacije na daljinu i taktilni Internet. Navedene usluge zahtijevaju neprestanu pouzdanu

povezanost zbog održavanja kritičnih aplikacija i sustava. Kako bi se ti zahtjevi ispunili mreža mora imati visoke ključne pokazatelje uspješnosti (engl. *Key Performance Indicators* – KPIs) kao što su niska latencija, visoka pouzdanost i široka dostupnost [41].

Masovna komunikacija uređaja omogućit će povezanost velikog broja uređaja koji su utemeljeni na internetskom protokolu (IP). Dva ključna zahtjeva za mMTC su velika gustoća uređaja spojenih na mrežu i dugo trajanje baterije uređaja. Neke od usluga koje će omogućiti mMTC su pametni gradovi, pametne kuće, pametna logistika transporta, senzori i kontrola zdravlja [42].

Na slici 5.1. nalazi se ilustracija usluga koje nude slučajevi upotrebe 5G mreža.

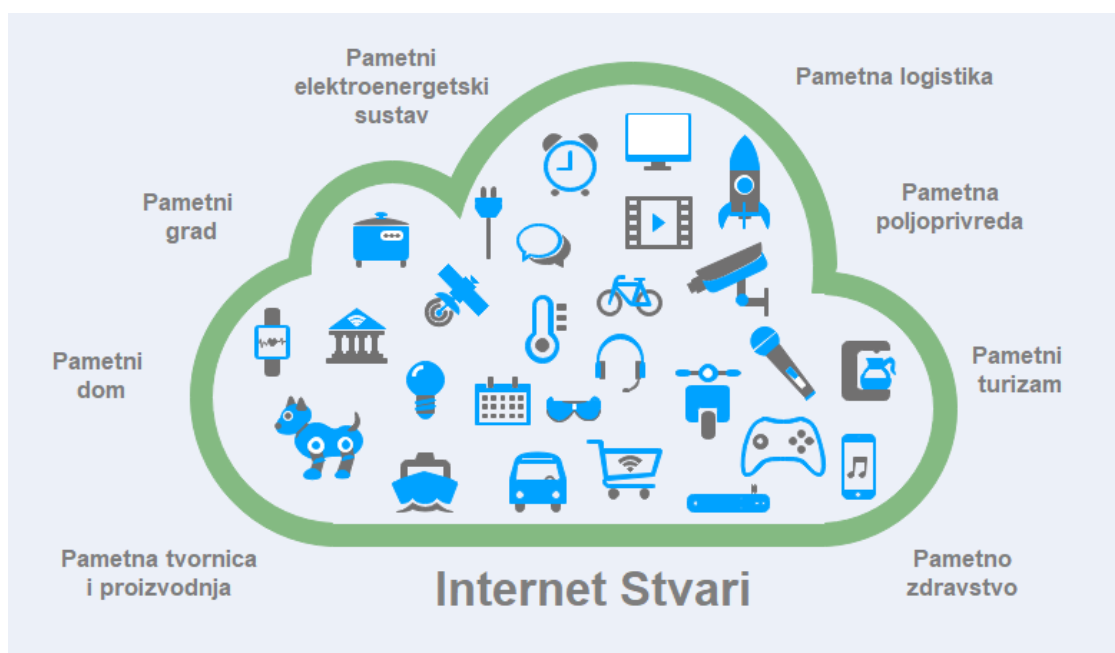


Slika 5.1. Slučajevi upotrebe 5G mreže [43]

5.2. Internet stvari (IoT)

Internet stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) predstavlja međusobno povezanu mrežu uređaja, opreme, materijala i ljudi (stvari) s jedinstvenim identifikatorom (engl. *Unique Identifier* – UID). Ovi uređaji povezani na internet imaju visoko razvijenu digitalnu inteligenciju koja im omogućuje sposobnost komunikacije bez potrebe za ljudskom interakcijom. IoT uređaji mogu se podijeliti u 3 kategorije : uređaji koji prikupljaju i šalju informacije, uređaji koji primaju informacije i djeluju u skladu s prikupljenim informacijama i uređaji koji objedinjuju mogućnosti

prve dvije kategorije. Kako bi se realizirala mogućnost širokog povezivanja, IoT uređaji koriste tehnologije poput radio frekvencijske identifikacije (engl. *Radio – Frequency Identification* - RFID), Wi-Fi-a i Bluetooth-a. IoT također koristi umjetnu inteligenciju i strojno učenje kako bi se olakšao postupak prikupljanja podataka. Uređaji spojeni na IoT dijelit će informacije o stanju okoline s ljudima, strojevima, softverskim i energetske sustavima i tako stvoriti novi tehnološki "pametni svijet". Pametni gradovi, pametni domovi, pametni sustavi, transport i zdravstvo su samo neki od primjera koji će promijeniti ljudski život i učiniti ga lakšim i sigurnijim u svakom pogledu [44]. Ostale primjene IoT-a prikazane su na slici 5.2.



Slika 5.2. IoT slučajeve upotrebe [45]

- Pametni grad i pametni dom

Pametni grad predstavlja cjelinu koju čine pametni domovi, pametni promet, pametne zgrade i uredi. Pametni grad je sustav koji koristi komunikacijske tehnologije s ciljem povezivanja ljudi s okolinom i pružanja personaliziranih usluga ovisno o lokaciji. Pametni domovi, zgrade i uredi osiguravaju mjesto od požara i poplava, koriste pametnu rasvjetu i instalacije i automatski pokreću razne kućanske i računalne uređaje. Pametni grad brinut će se o potrošnji i proizvodnji energije, rasvjeti ulica, kontroli prometa i transporta, komunalnim uslugama i sl. , te tako olakšati gradske usluge, ali i smanjiti troškove i potrošnju energije [44].

- Pametna elektroenergetska mreža

Pametna mreža omogućit će pametno upravljanje energijom. Pametna elektroenergetska mreža će primjenjivati komunikacijsku i informacijsku tehnologiju sa svrhom efikasnije raspodjele električne energije između potrošača i dobavljača. Komunikacijske i informacijske tehnologije koje se koriste sadrže senzore za nadzor protoka električne energije, digitalne tehnologije koje šalju podatke kroz mrežu, pametna brojila sa zaslonom za domaćinstva i razne kontrolne i automatizirane sustave za skupljanje i obrađivanje podataka. IoT aplikacije omogućit će kontrolu električne energije u raznim pogonima i elektranama (nuklearnim elektranama i elektranama na fosilna goriva, solarnim elektranama i ostalim elektranama koji koriste obnovljive izvore energije), ali i u električnim vozilima i električnim sustavima u bolnicama. Svaka energetska industrija za cilj ima povećati korištenje obnovljivih izvora energije kako bi se smanjila emisija štetnih plinova, a 5G i IoT će u budućnosti znatno pridonijeti stvaranju tehnologije potrebne za proizvodnju "zelene energije" [44].

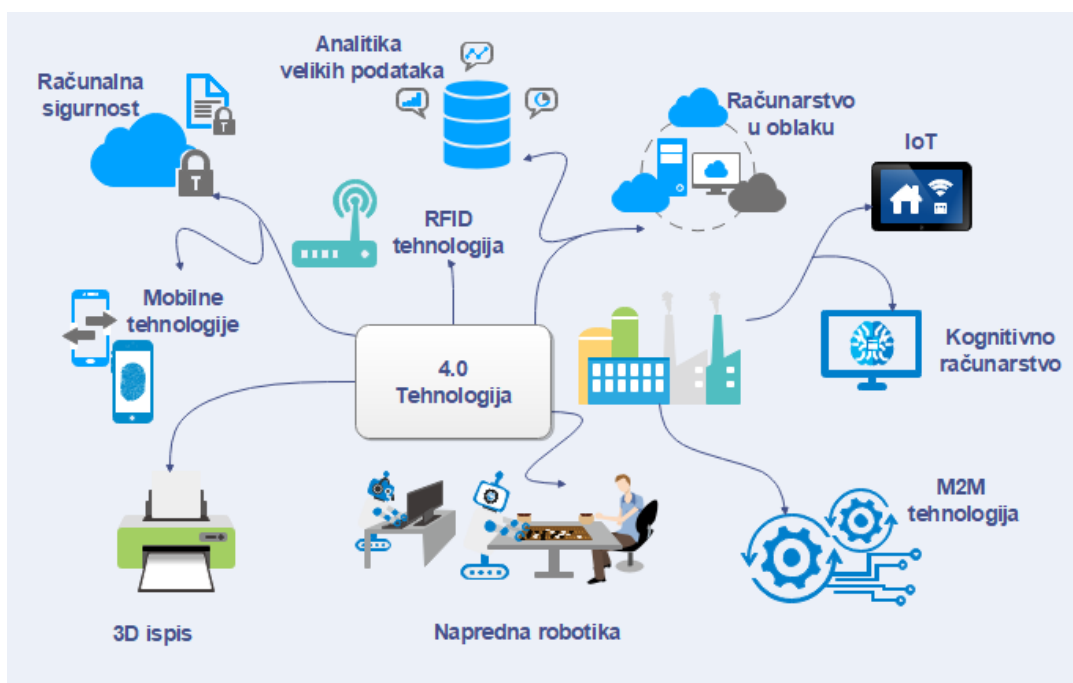
- Pametno zdravstvo

Hospitalizirani pacijenti zahtijevaju brojne preglede fiziološkog stanja koji se trebaju neprestano kontrolirati i nadzirati. Zdravstveni djelatnici koji redovito provjeravaju vitalne signale pacijenata će biti zamijenjeni naprednim IoT uređajima. Ovi uređaji pomoću tehnologije za nadziranje prikupljaju fiziološke informacije o pacijentu te ih spremaju na oblak i dalje analiziraju. Analizirane podatke šalju zdravstvenim djelatnicima na dodatni sigurnosni pregled i analizu. Zbog kontinuiranog prikupljanja podataka i pažnje usmjerene na pacijente povećava se kvaliteta usluge, ali se i smanjuju troškovi tradicionalne njege. Također se spominje i potencijalno odvijanje pregleda i operacija na daljinu. Za ovakve pothvate potrebna je iznimno napredna tehnologija sa malom latencijom i visokom pouzdanošću [44].

5.3. Industrija 4.0 (Četvrta industrijska revolucija)

Pametne tvornice i pametna proizvodnja koja će biti povezana na IoT i koristiti umjetnu inteligenciju, strojno učenje, automatizaciju uređaja i komunikaciju stroja sa strojem (engl. *Machine – to- Machine – M2M*) predstavljaju četvrtu industrijsku revoluciju. Pametne tvornice promijenit će način na koji se proizvodi osmišljavaju, proizvode i isporučuju, ali u isto vrijeme i smanjiti emisije ugljičnog dioksida, metana i sličnih štetnih plinova. Također će smanjiti i mogućnosti rizika i ozljeda pri proizvodnji. Pametne industrije koristit će tehnologije kao što su automatizacija, autonomna pokretljivost i robotika. Industrijski Internet stvari (engl. *Industrial IoT – IIoT*) omogućava M2M komunikaciju u kojoj uređaji mogu komunicirati međusobno ili s drugim

objektima kako bi donosili odluke u postupcima proizvodnje. M2M komunikacija odvija se bez ljudske interakcije. Pametne tvornice će pomoću M2M komunikacije moći pouzdano pratiti proizvode, senzorima pratiti napredak i skupljati bitne informacije. Nova napredna industrija trebala bi zajamčiti i manju potrošnju energije, smanjiti zaostatke u održavanju strojeva i osigurati manje prisilnih isključenja strojeva. Industrija 4.0 radit će na osnovu 4 glavna principa: međusobna povezanost, transparentnost informacija, tehnička podrška i decentralizirane odluke. Osim interneta stvari, industrija 4.0. će koristiti i druge tehnologije poput kibernetičkog ili inteligentnog sustava (engl. *Cyber Physical System* – CPS) , analitiku velikih podataka (engl. *Big Data Analytics*) , horizontalnu i vertikalnu integraciju sustava, računarstvo u oblaku i trodimenzionalni ispis (engl. *3D printing*) [46]. Navedene i još neke dodatne tehnologije ilustrirane su na slici 5.3.



Slika 5.3. Tehnologije pametne industrije [47]

5.4. Automobilska industrija

Automatizirani automobil je vozilo sposobno za primanje signala iz okoline i pogon bez ljudske prisutnosti i interakcije. Tijekom automatizirane vožnje ljudski suvozač ne mora niti u jednom trenutku preuzeti kontrolu nad vozilom ili uopće biti prisutan unutar vozila. Iako mnogi koriste izraz "autonomna" ili "samovozeća" vozila , Društvo automobilskih inženjera (engl. *Society of Automotive Engineers* - SAE) naglašava kako bi "autonomno" vozilo bilo samosvjesno i sposobno za vlastite odluke i ne bi ispunjavalo naredbe kao što to radi automatizirano vozilo.

Samovozeća (engl. *self-driving*) vozila pak mogu uspješno obavljati automatiziranu vožnju i izvršavati dobivene naredbe, ali uvijek uz prisutnost suvozača [48].

Automatizirana vozila koristit će razne načine komunikacije poput komunikacije između vozila i infrastrukture, komunikacije između vozila i vozila, komunikacije između vozila i suvozača i komunikacije između vozila i senzora. Sve ove vrste komunikacija morat će ispuniti zahtjeve za niskom latencijom, visokom pouzdanošću i visokom brzinom prijenosa podataka [49].

Automatizirana vozila se prilikom rada oslanjaju na aktuatore, sustav strojnog učenja, složene algoritme softvera i upravljanja. Automatizirana vozila prilikom rada također koriste određene senzore koji pomoću kamera lociraju pozicije drugih vozila i ljudi u prometu. Ovi senzori nazivaju se RADAR (engl. *Radio Detection and Ranging* - RADAR). RADAR senzori također prepoznaju i semafore i čitaju i prate prometne znakove. Osim navedenih senzora, koriste se i senzori zaslužni za mjerenje udaljenosti, prepoznavanje rubova ceste i identificiranje voznih traka pod nazivom LIDAR (engl. *Light Detection and Ranging* – LIDAR). Ultrazvučni senzori nalaze se u kotačima i koriste se pri parkiranju za otkrivanje položaja rubnika i drugih vozila. Svi podaci koje senzori skupe šalju se naprednom softveru koji ih analizira i stvara putanju pomoću pravila i algoritama za prometna pravila i navigaciju kroz prepreke. Softver zatim upute šalje aktuatorima koji kontroliraju ubrzanje, kočenje i upravljanje vozilom. [48].

Automatizirana vozila poboljšat će ljudsko iskustvo vožnje, ali i ekološko stanje u svijetu. Automatizirana vozila ekološki su prihvatljivi i smanjiti će do 80% emisije štetnih plinova. Također će smanjiti troškove prijevoza (u vidu infrastrukture i goriva) i gužve u prometu. Osigurati će manje prometnih nesreća i pružiti ljudima ugodnije i sigurnije iskustvo vožnje bez stresa. Iako automatizirana vozila trebaju ispuniti veliki broj zahtjeva, široka primjena 5G mreže omogućiti će njihovu potpunu funkcionalnost neovisno o vremenskim uvjetima, okolini i drugim izazovima koji se nalaze pred njima.

5.5. Virtualna i proširena stvarnost

Virtualna stvarnost je umjetno virtualno okruženje koje predstavlja rekreaciju stvarnog fizičkog okruženja ili situacija iz života, a može predstavljati i potpuno novo imaginarno okruženje. Virtualna stvarnost računalna je simulacija koja je stvorena pomoću softvera i korisnicima pruža mogućnost međusobne komunikacije i osjećaja da se nalaze na istoj lokaciji. Pomoću virtualne stvarnosti ljudi imaju mogućnost sastanaka na daljinu zbog određenih aktivnosti koje zahtijevaju fizičku prisutnost. Primjeri navedenih aktivnosti su konferencije, poslovni sastanci i razgovori, igranje igara i slušanje glazbe. Virtualna stvarnost se također primjenjuje i u

medicini za izradu određenih 3D modela, u vojsci za simulaciju vojnih uređaja, te u svrhe edukacije, dizajna, arhitekture i marketinga. Za usluge virtualne stvarnosti potrebna je oprema koja se naziva *headset* – posebne naočale.

Proširena stvarnost obogaćuje tj. proširuje fizičku stvarnost dodavanjem novih informacija koje su važne za okruženje korisnika. Ove informacije predstavljaju dijelove virtualnog okruženja koji se prilagođavaju i dodaju u stvarno okruženje pomoću senzora. Proširena stvarnost koristi se u brojnim područjima primjene, a za njene usluge potreban je samo pametni telefon. Proširena stvarnost koristi se u medicini kako bi osigurala sigurnije kirurške zahvate, koristi se i u industriji za vizualizaciju potrebnih instrukcija proizvodnje, u arhitekturi se koristi za prikaz zgrada i ostalih projekata, a čak postoji i aplikacija za pronalazak automobila na parkingu.

Visoka brzina prijenosa podataka i nisko vrijeme kašnjenja ključne su značajke za visoku kvalitetu usluga virtualne i proširene stvarnosti. Za virtualnu stvarnost također je bitno kontinuirano slanje podataka između korisnika jer svaki korisnik izravno utječe na scenu virtualne stvarnosti. Proširena stvarnost zahtijeva neprestanu komunikaciju između oblaka i uređaja ili korisnika jer oblak mora biti informiran o svim detaljima u okolini i mogućim promjenama [49].

6. ZAKLJUČAK

Mobilni komunikacijski sustavi omogućili su svjetski razvijenu bežičnu povezanost te unaprijedili ljudsku komunikaciju kao i izravnu međusobnu komunikaciju uređaja. Dok je prva generacija mobilnih mreža bila usmjerena na uspostavu poziva bez podatkovnih usluga, druga i treća generacija uvode mogućnost tekstualnih poruka i Interneta. Iako je treća generacija pokazala veliki pomak i promjenu u odnosu na prvu i drugu generaciju s prijelazom s kbps na Mbps, brzine prijenosa podataka još uvijek nisu zadovoljavale potrebe korisnika. Četvrta generacija mobilnih mreža po prvi puta omogućava brzine od 1 Gbps i nudi brojne novorazvijene tehnologije i usluge.

S vremenom je došlo do velikog povećanja broja mobilnih uređaja spojenih na mobilnu mrežu i korisnika usluga mobilnih mreža. Povećanje broja mobilnih uređaja spojenih na istu mobilnu mrežu dovelo je do zagušenosti mreže i smanjenja brzine prijenosa podataka te narušavanja sveukupne kvalitete usluge. Kako bi se ostvarili daljnji tehnološki napreci i osigurala bolja kvaliteta usluge uvodi se peta generacija mobilnih komunikacijskih sustava. Glavne prednosti 5G mreže obuhvaćaju mogućnost masivne povezanosti uređaja na mrežu, nisku latenciju manju od 1 ms i visoku brzinu prijenosa podataka od 10 Gbps te povećan kapacitet mreže. Kapacitet mreže proširit će se građenjem novih baznih stanica koje će biti gusto raspoređene kako bi uspješno prenosile velike količine podataka. 5G mreža će koristiti i tehnike poput metode masivnih višeslojnih prijenosa (MIMO) te oblikovanje zračenja (engl. *beamforming*) kako bi se ostvarilo bolje i sigurnije povezivanje uređaja.

Za razliku od prijašnjih generacija mobilnih mreža koje su se primarno fokusirale na poboljšanje spektralne i energetske učinkovitosti mreže, 5G mreža mijenja percepciju stvorenu o mobilnim komunikacijskim sustavima fokusirajući se na uvođenje usluga poput virtualne i proširene stvarnosti, autonomna vozila, mogućnost odvijanja medicinskih operacija na daljinu i općeniti razvoj robotike i brojnih gospodarskih sektora. Kako je za sve navedene usluge potrebna visoka brzina prijenosa podataka, dolaze i izazovi povećane potrošnje energije. Stoga je 5G mreža dizajnirana na energetske učinkovit način koji omogućuje pametnije korištenje mreže i energetske štedljivost uređaja. Kako bi 5G mreža zadovoljila sve zahtjeve za usluge koje će nuditi u budućnosti, uvodi se i nova proširena arhitektura mreže te se koriste neke nove metode virtualizacije mreže poput raslojavanja mreže, NFV-a i SDN-a.

Trenutno oko 70 država globalno ima pristup 5G mreži, a u Republici Hrvatskoj 5G mrežom su pokrivena 82 grada i 15 općina.

LITERATURA

- [1] M. I. Baba, N. Nafees, I. Manzoor, K. A. Naik, S. Ahmed , Evolution of Mobile Wireless Communication Systems from 1G to 5G : A Comparative Analysis, Department of Electronics and Communication Engineering, Baba Ghulam Shah Badshah University, Rajouri, J&K, India, TechnoScience Academy , sv. 4, izdanje 1, str. 01-08 , Ožujak-Travanj, 2018 Dostupno : <https://1library.net/document/y439jjvz-evolution-mobile-wireless-communication-systems-g-comparative-analysis.html> (lipanj, 2022.)
- [2] Louis E. Frenzel Jr., Principles of Electronic Communication Systems, McGraw-Hill Education , str. 03-06, 2016., Dostupno : <https://ia803401.us.archive.org/25/items/electronic-communication-systems-frenzel-jr/Electronic%20Communication%20Systems%20-%20Frenzel%20Jr.pdf> (lipanj, 2022.)
- [3] FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK , Zavod za komunikacije, Komunikacijske mreže – LV2 – Sloj linka podataka: Primjena zaštitnih kodova (2018-19.) Dostupno : https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4711544/mod_resource/content/7/KM_LV3%20-%20Sloj%20linka%20podataka%20-%20Primjena%20zastitnih%20kodova%20_2018-19.pdf (lipanj, 2022.)
- [4] <https://hr.gadget-info.com/difference-between-simplex> (lipanj, 2022.)
- [5] <https://www.rfpage.com/evolution-of-wireless-technologies-1g-to-5g-in-mobile-communication/> (lipanj, 2022.)
- [6] <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/FDMA> (lipanj, 2022.)
- [7] <https://networkencyclopedia.com/advanced-mobile-phone-service-amps/#open> (lipanj, 2022.)
- [8] <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/tacs-total-access-communications-system> (lipanj, 2022.)
- [9] <https://techdifferences.com/difference-between-1g-and-2g.html> (lipanj, 2022.)
- [10] <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/TDMA> (lipanj, 2022.)
- [11] <https://www.emnify.com/iot-glossary/gsm> (lipanj, 2022.)
- [12] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm/network-architecture.php> (lipanj, 2022.)

- [13] <https://rantcell.com/comparison-of-2g-3g-4g-5g.html> (lipanj, 2022.)
- [14] A.Kumar, Dr. Y. Liu, Dr. J. Sengupta, Divya , Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G , IJECT , prosinac, 2010. Dostupno: <http://www.iject.org/pdf/amit.pdf> (lipanj, 2022.)
- [15] <https://www.emnify.com/iot-glossary/umts> (lipanj, 2022.)
- [16] https://www.cse.iitb.ac.in/~satyajit_01/seminar/node25.html (lipanj, 2022.)
- [17] <https://www.slideshare.net/mohammadmateen9210/umts-introduction> (lipanj, 2022.)
- [18] <https://www.emnify.com/iot-glossary/4g> (lipanj, 2022.)
- [19] <https://www.digi.com/blog/post/what-is-lte> (lipanj, 2022.)
- [20] B.Burazer, Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, Zagreb, Dostupno: <https://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> (lipanj, 2022.)
- [21] <https://www.systemoneservices.com/5g-what-you-need-to-know/5g-timeline-graphics-01/> (lipanj, 2022.)
- [22] <https://www.5g.hr/tehnologija/motivancija-uvodenja-5g-mreze/> (lipanj, 2022.)
- [23] <https://www.hakom.hr/hr/zasto-5g/384> (lipanj, 2022.)
- [24] <https://www.hakom.hr/hr/tehnologija-386/386> (lipanj, 2022.)
- [25] <https://www.techtarget.com/searchnetworking/feature/A-deep-dive-into-the-differences-between-4G-and-5G-networks> (lipanj, 2022.)
- [26] M.Taheribakhsh, A.Jafari, M.M. Peiro, N.Kazemifard, 5G Implementation: Major Issues and Challenges , CSICC, Iran, 2020 Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9050110> (lipanj, 2022.)
- [27] <https://mreza.bug.hr/5g-pred-izazovom-mmwavea/> (lipanj, 2022.)
- [28] F.Agnoletto, P. Castells, E.Kolta, D.Nichiforov-Chuang, The economics of mmWave 5G, GSMA Intelligence, siječanj, 2021 <https://data.gsmainelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=59768858&file=210121-Economics-of-mmWave.pdf> (lipanj, 2022.)

- [29] <https://spectrum.ieee.org/applications-of-device-to-device-communication-in-5g-networks> (lipanj, 2022.)
- [30] M. J. Wang, Z. Yan, "A Survey on Security in D2D Communications", *Mobile Networks and Applications*, vol. 22, no. 2, pp. 195-208, 2017.
- [31] <https://www.emnify.com/iot-glossary/5g> (lipanj, 2022.)
- [32] R. Taid, *Mobile Communications Systems Development: A Practical Introduction to System Understanding, Implementation, and Deployment*, prvo izdanje, John Wiley & Sons Ltd 2021.
- [33] <https://www.ericsson.com/en/ran> (lipanj, 2022.)
- [34] A. Sutton, Scalable and optimised service delivery , 5G Network Architecture , The Journal 2017.
- [35] S. Rommer, P. Hedman, M. Olsson, 5G Core Networks, Powering Digitalisation , Elsevier Ltd 2020.
- [36] http://www.telcoware.com/eng_191127/01_product/0906_ausf.asp (kolovoz, 2022.)
- [37] https://docs.oracle.com/cd/F22976_01/docs.10/NRF/GUID-27508FD1-2E19-42CB-90EE-761BBD969264.htm (kolovoz, 2022.)
- [38] <https://www.redhat.com/en/topics/virtualization/what-is-nfv> (kolovoz, 2022.)
- [39] <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/sdn-vs-nfv.html> (kolovoz, 2022.)
- [40] M.A. Imran, Y. Abdulrahman, Q. H. Abbasi , Enabling 5G Communication Systems to Support Vertical Industries, John Wiley & Sons Ltd , 2019, DOI: 10.1002/9781119515579
- [41] H. Kim, Design and Optimization for 5G Wireless Communications, John Wiley & Sons Ltd , 2020. Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9080496> (lipanj, 2022.)
- [42] I. Jovović, I. Forenbacher, M. Periša , Massive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G , Zagreb, 2015. Dostupno : https://www.fpz.unizg.hr/ikp/upload/RCITD_2015_Massive%20Machine%20Type%20Communications%20An%20Overview%20and%20Perspectives%20Towards%205G.pdf (lipanj, 2022.)
- [43] Jiang, D., Liu, G. An Overview of 5G Requirements. 5G Mobile Communications, 3–26. 2016, DOI:10.1007/978-3-319-34208-5_1
- [44] Z. Kamal, A. Mohammeda , E.S. A. Ahmed, Internet of Things Applications, Challenges and Related Future Technologies , World Scientific News, 2017. Dostupno :

https://www.researchgate.net/publication/313651150_Internet_of_Things_Applications_Challenges_and_Related_Future_Technologies (lipanj, 2022.)

[45] <https://www.adlittle.com/fr-ko/IoTpotential5G>(lipanj, 2022.)

[46] <https://www.emnify.com/blog/industry-4-0> (lipanj, 2022.)

[47]<https://aie-internship.com/where-is-the-industry-4-0-in-our-life-by-busra-guler/>(lipanj, 2022.)

[48] <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-autonomous-car.html> (lipanj, 2022.)

[49] A.Osseiran, J.F.Monserrat, P.Marsh , 5G Mobile and Wireless Communications Technology ,Cambridge University Press 2016, Dostupno :
https://www.researchgate.net/publication/305882445_5G_Mobile_and_Wireless_Communications_Technology (lipanj, 2022.)

POPIS KRATICA

1xEV-DO - Evolution Data Optimized

3GPP - 3rd Generation Partnership Project

5G NR - 5G New Radio

5GC - 5G Core

AAU - Active Antena Unit

AI - Artificial Intelligence

Allowed NSSAI - Allowed Network Slice Selection Assistance Information

AMF - Access and Mobility Management Function

AMPS - Advanced Mobile Phone Service

AN - Access Network

AuC - Authentication Center

AUSF - Authentication Server Function

BDMA - Beam Division Multiple Access

BSS - Base Station Subsystem

CDMA - Code Division Multiple Access

CP - Control Plane

CPS - Cyber Physical System

D2D - Device-to-Device

DDoS - Distributed Denial-of-Service

DRX - Discontinuous Reception

DSS - Dynamic Spectrum Sharing

E-UTRAN - Evolved UTRAN

E2E - end-to-end

EAN - European Aviation Network

EDGE - Enhanced Data GSM Evolution

EIR - Equipment Identity Register

eMBB - enhanced Mobile Broadband

ENodeB - Evolved NodeB

EPC - Evolved Packet Core

FDD - Frequency Division Duplex

FDMA - Frequency Division Multiplex Access

FM - Frekvencijska modulacija

FWA - Fixed Wireless Access

gNB - next Generation Node B

gNB-CU - gNB-Centralised Unit

gNB-CU-CP - gNB-Centralised Unit - Control Plane

gNB-CU-UP - gNB-Centralised Unit - User Plane

gNB-DU - gNB Distributed Unit

GPRS - General Packet Radio Service

GPS – Global Positioning System

GSM - Global System for Mobile Communications

HLR - Home Location Register

HSDPA - High Speed Downlink Packet Access

HSPA - High Speed Packet Access

HSPA+ - High Speed Packet Access plus

HSUPA - High Speed Uplink Packet Access

IIoT - Industrial Internet of Things

IMSI - International Mobile Subscriber Identities

IMTS - Improved Mobile Telephone Service

IoT - Internet of Things

ITU - International Telecommunication Union

ITU-R - International Telecommunications Union – Radio

KPIs - Key Performance Indicators

LIDAR - Light Detection and Ranging

LPWAN - Low Power Wide Area Network

LPWAN - Low Power Wide Area Network

LTE - Long Term Evolution

LTE-A - LTE Advanced

LTE-M - Long Term Evolution for Machines

M2M - Machine-to-Machine

MAC - Medium Access Control

MANO - Management, Automation and Network Orchestration

Massive MIMO - Massive Multiple Input – Multiple Output

MIMO - Mutiple Input, Multiple Output

MMS - Multimedia Messaging Service

mMTC - Massive Machine - Type Communication

MS - Mobile Station

MSC - Mobile Services Switching Center

MTS - Mobile Telephone Service

NB - IoT - Narrowband IoT

NEF - Network Exposure Function

NFV - Network Functions Virtualisation

NFVi - Network Functions Virtualization Infrastructure

NG-Core - Next Generation Core

NG-RAN - Next Generation

NG-AP-NG-Application Protocol

ng-eNB - next generation – evolved Node B

NMT - Nordic Mobile Telephones

NRF - Network Repository Function

NSA - Non-Stand Alone

NSS - Network and Switching Subsystem

NSSF - Network Slice Selection Function

OFDMA - Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

OSS - Operations Support System

PCF - Policy Control Function

PDCCP - Packet Data Convergence Protocol

PDU Session - Protocol Data Unit Session

PSM - Power Saving Mode

QoS - Quality of service

RADAR - Radio Detection and Ranging

RAN - Radio Access Network

RFID - Radio – Frequency Identification

RLC - Radio Link Control

RNC - Radio Network Controller

RRC - Radio Resource Control

SA - Stand Alone

SAE - Society of Automotive Engineers

SBA - Service Based Architecture

SBI - Service- Based Interface

SC-FDMA - Single Carrier Frequency Division Multiple Access

SD - Slice Differentiator

SDAP - Service Data Adaption Protocol

SDN - Software Defined Networking

SIM - Subscriber Identity Module

SMF - Session Management Function

SMS - Short Message Service

S-NSSAI - Single Network Slice Selection Assistance Information

SST - Slice/Service Type

TACS - Total Access Communication System

TDMA - Time Division Multiple Access

UDM - Unified Data Management

UDR - Unified Data Repository

UE - User Equipment

UID - Unique Identifier

UMTS - Universal Mobile Telecommunication System

UP - User Plane

UPF - User Plane Function

URLLC - Ultra - Reliable and Low - Latency Communications

UTRAN - Universal Terrestrial Radio Access Network

VLR - Visitor Location Register

VNFs - Virtualized network functions

W-CDMA - Wideband Code Division Multiple Access

WiMax - Worldwide Interoperability for Microwave Access (AXess)

WWW - Wireless World Wide Web

Xn-AP - Xn-Application Protocol

SAŽETAK

Naslov: Načela rada 5G sustava

U ovom radu prikazana je evolucija mobilnih komunikacijskih sustava od prve (1G) generacije do pete (5G) generacije. Navedeni su razlozi uvođenja nove pete generacije mobilnih mreža i izazovi za 5G mrežu. Opisana je arhitektura mreže pete generacije i određeni principi virtualizacije mrežnih funkcija. Predstavljani su slučajevi upotrebe pete generacije i zahtjevi za kvalitetu usluge koje 5G mreža mora ispuniti.

KLJUČNE RIJEČI: 5G sustav; arhitektura 5G sustava ; izazovi 5G sustava ; slučajevi upotrebe 5G sustava ; zahtjevi 5G sustava

ABSTRACT

Title: Principles of operation of the 5G system

This paper provides an overview of the evolution of mobile communication systems from first (1G) to fifth (5G) generation. The reasons for implementing the new fifth generation of mobile networks are explained as well as the challenges for the 5G networks. The network architecture of fifth generation and the principles of network function virtualisation are described. Use cases and the quality of service requirements for the fifth generation are also introduced.

KEY WORDS: 5G system ; 5G system architecture ; 5G system challenges ; 5G system requirements ; 5G system use cases

ŽIVOTOPIS

Ines Momić rođena je 13. siječnja 2001. godine u Vinkovcima. U razdoblju od 2007. do 2015. godine pohađala je osnovnu školu Mate Lovraka u Županji nakon koje je upisala Prirodoslovno – matematičku gimnaziju u Županji. Maturirala je 2019. godine te upisala preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.