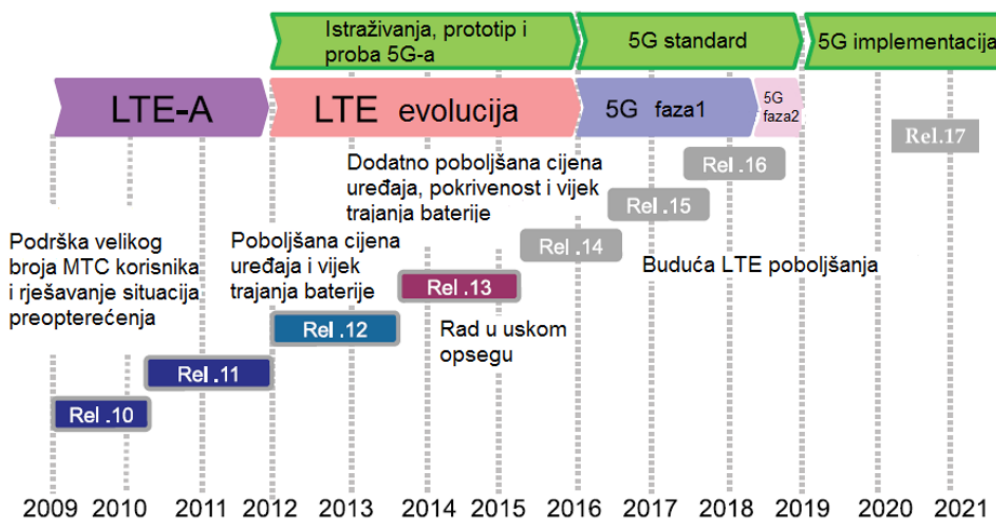


9 OPIS 5G MOBILNIH KOMUNIKACIONIH SISTEMA

9.1. Standardizacija 5G celularnih radio sistema

Standardizacija je jedan od ključnih procesa u razvoju i uspješnoj implementaciji bilo kog mobilnog celularnog radio sistema, pa naravno i 5G sistema. U tom procesu standardizacije izuzetno važnu ulogu ima 3GPP (*Third Generation Partnership Project*).

Na slici 9.1 prikazana je evolucija celularnih standarda uz navođenje odgovarajućih 3GPP *Release-a*, koji detaljno specificiraju svaku pojedinačnu tehnologiju relevantnu za implementaciju 5G celularnih mobilnih komunikacionih sistema.



Slika 9.1

Release 15 ima fokus ka unaprijeđenju mobilne širokopolasne mreže i stoga su sve specifikacije usmjerene ka omogućavanju:

- novog radija (NR -*New Radio*) u radio-pristupnoj mreži 5G sistema,
- konceptu masivne komunikacije mašinskog tipa (mMTC) i IoT-u,
- V2X komunikaciji,
- kritičnim misijama povezanim sa naslijeđenim sistemima,
- integracije WLAN-a iz nelicenciranih opsega,
- mrežnog segmentiranja (*slicing*), tj. logičkih mreža od kraja do kraja (*end-to-end*),
- arhitektura zasnovanih na sevisima (SBA - *Service Based Architecture*),
- daljih unaprijeđenja LTE-a,
- sistema mobilnih komunikacija za željeznicu (FRMCS - *Mobile Communication System for Railways*).

Glavni fokus u okviru *Release 16*, koji predstavlja drugu fazu standardizacije 5G mreža, je stavljen na pouzdanost i izuzetno malo kašnjenje u 5G mrežama za kritične aplikacije i uključuje:

- poboljšanje ultra pouzdane (UR – *Ultra Reliable*) komunikacije sa malim kašnjenjem (URLLC – *Ultra Reliable Low Latency Communications*),
- podršku i evoluciju mobilnog IoT-a,
- naprednu V2X podršku,
- servise lokacije i pozicioniranja u 5G,
- optimizaciju signalizacije za korisničke terminale,
- omogućavanje arhitekture mrežne automatizacije za 5G,
- poboljšanje bežične i žične konvergencije,
- *streaming* i TV,
- potvrdu korisničkog identiteta, segmentiranje (*slicing*) za više uređaja (mreža).

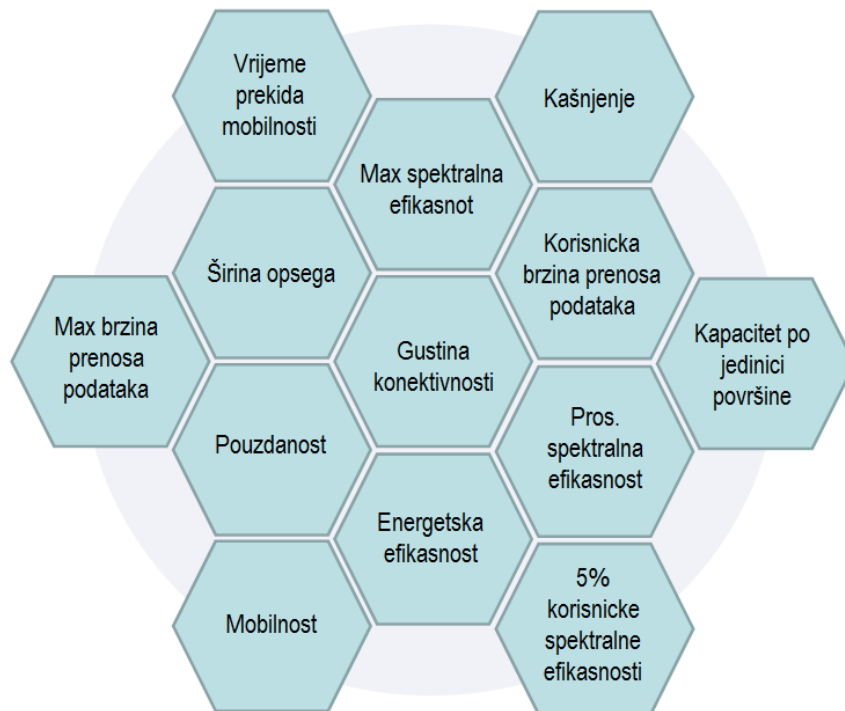
Release 17, čije se specifikacije očekuju u drugoj polovini 2021. godine treba da omoguće poboljšanja za:

- URLLC za industrijski IoT preko NR-a,
- NR podršku preko nezemaljskih mreža,
- MIMO,
- Integrisani pristup i *backhaul* (IAB),
- Pozicioniranje MBS-a,
- NR *multicast* i servise emitovanja,
- RAN *slicing* za NR,
- NR *sidelink*,
- multi-RAT dualnu konektivnost,
- podršku multi-SIM uređajima za LTE/NR,
- NR prenos malih količina podataka u neaktivnom stanju i prioritetne multimedijalne servise.

Kad je ITU u pitanju, ITU-ova preporuka ITU-R M.2083 daje okvir i opšte ciljeve u vezi IMT-2020 i narednih standarda. IMT-2020 familija standarda definiše set specifikacija za 5G mobilne mreže, što obuhvata mnoštvo scenarija primjene (u raznim propagacionim okruženjima), servisne mogućnosti i tehnološka rješenja.

Ideja o 5G predstavljena je još 2012. godine kada je ITU-R pokrenuo program razvoja IMT-a za 2020. godinu i kasnije (*IMT-2020 and beyond*). ITU radna grupa 5D (WP5D - *ITU Working Party 5D*) radila je na očekivanom vremenskom planu za ITU okvir koji trasira put IMT-2020 standardu, uključujući analizu ključnih elemenata u vezi mreža pete generacije, u saradnji sa industrijom mobilnih širokopojasnih mreža i ostalim zainteresovanim stranama. Jedan od osnovnih rezultata rada navedene radne grupe je 5G vizija za mobilno širokopojasno povezano društvo iz 2015. god. Ova vizija se smatra temeljem za *World*

Radiocommunication Conference (WRC) 2019 i prikazuje ITU IMT-2020 kategoriju zahtjeva u pogledu: maksimalne brzine prenosa podataka, maksimalne spektralne efikasnosti, korisničke brzine prenosa podataka, 5% korisničke spektralne efikasnosti, prosječne spektralne efikasnosti, kapaciteta saobraćaja, kašnjenja, gustine konektivnosti, energetske efikasnosti, pouzdanosti, mobilnosti, vremena prekida mobilnosti, širine propusnog opsega. Prikaz ITU IMT-2020 kategorija zahtjeva dat je na slici 9.2. U Tabeli 9.1 je dat pregled specifičnih tehničkih zahtjeva, koji su postavljeni kao minimalni zahtjevi za IMT-2020.



Slika 9.2. Prikaz ITU IMT-2020 kategorija zahtjeva za 5G

Pored prethodno navedenih, zahtjevi u pogledu bezbjednosti predstavljaju predušlov za bilo koji uspješan komunikacioni sistem. Bezbjednost će ostati ključni izazov i za sve nove tehnologije.

Tabela 9.1. Pregled postavljenih minimalnih tehničkih zahtjeva za IMT-2020.

Karakteristike	Zahtjevi	Komentari
Maksimalna brzina prenosa podataka	DL: 20Gb/s UL: 10Gb/s	Jedan mobilni eMBB u idealnim scenarijima (podrazumijeva se da su svi resursi iskorišćeni)
Maksimalna spektralna efikasnost	DL: 30b/s/Hz (podrazumijeva se 8 stream-ova); UL: 15b/s/Hz	Jedan mobilni eMBB u idealnim scenarijima, podrazumijevajući da su svi resursi iskorišćeni

	(podrazumijeva se 4 <i>stream</i> -a)	
Brzina prenosa podataka (korisničko iskustvo)	DL: 100Mb/s UL: 50Mb/s	5% CDF-a od eMBB korisničke propusnosti
Kapacitet saobraćaja	<i>Indoor hotspot</i> DL: 10/Mb/s/m ²	eMBB
Kašnjenje na korisničkoj ravni	eMBB: 4ms URLLC: 1ms	Jedan korisnik za male IP pakete, za DL i UL (eMBB i URLLC)
Kašnjenje na kontrolnoj ravni	20ms (razmatra se i do 10ms)	Tranzicija iz stanja mirovanja u aktivno stanje (eMBB i URLLC)
Gustina konektivnosti	1M uređaja/km ²	Za mMTC
Dostupnost	99.9999% vjerovatnoća uspjeha	32 L2 bajta unutar 1ms na ivici ćelije
Širina propusnog opsega	>100 MHz, do 1GHz za opsege iznad 6GHz	Dozvoljen CA

9.2. 5G funkcionalnosti

Od 5G komunikacionih mreža očekuje se podrška sve izraženijim zahtjevima korisnika u pogledu prenosa velikih količina podataka, značajno većim brzinama u odnosu na aktuelne celularne mobilne komunikacione mreže. Trend porasta video saobraćaja, interesovanje za proširenu i virtuelnu realnost, UHD (*Ultrahigh Definition*) video *streaming*, uslovljava potrebu za brzinama prenosa podataka reda nekoliko Gb/s. Upravo će uvođenje 5G dovesti do kreiranja komunikacionog ambijenta u kome će se bežične mobilne mreže po svojim performansama približiti uslovima koji se trenutno ostvaruju u fiksnim mrežama zasnovanim na pristupu putem optičkih vlakana.

U principu, 5G mreže treba da omoguće:

- Poboljšani mobilni širokopolasni pristup (eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*): Prva faza implementacije 5G mreža značiće prenos podataka do mobilnih uređaja značajno većim brzinama. Pametni terminali će moći da preuzimaju ili *stream*-uju HD sadržaje za nekoliko sekundi, mnogo brže pregledaju *web* stranice i *upload*-uju različite sadržaje;
- Ultra pouzdanu komunikaciju sa malim kašnjenjem (URLLC - *Ultra-Reliable Low-Latency Communications*): Podaci će se razmjenjivati sa

izuzetno malim kašnjenjem, što je od posebnog značaja za funkcionalno kritične aplikacije, kao što su one vezane za javnu bezbjednost. Ostali primjeri upotrebe uključuju: pametne fabrike, autonomnu vožnju, hirurgiju na daljinu ili medicinsku dijagnostiku i pametnu energetska mrežu (*smart grid*);

- Upotrebu radio talasa milimetarskog opsega (*mmWave*): 5G će koristiti prednosti spektra (između 24GHz i 100GHz) sa kratkim talasnim dužinama. Na taj način se stvaraju uslovi za pouzdan prenos podataka velikom brzinom, što je od posebnih značaja u gusto naseljenim urbanim sredinama;
- Masivni Internet stvari (IoT) - mMTC (*Masive Machine Type Communication*): Iako je razvoj platformi za komunikaciju između uređaja (mašina) intenziviran u poslednjih nekoliko godina, 5G tehnologija ima za cilj da obezbjedi komunikaciju između do sada nezamislivog broja uređaja i stvari. U cilju obezbjeđivanja povezivanja, održavanja i ukupnih troškova na razumnom nivou, 5G će povezati mreže senzora ugrađenih u pametne uređaje ostvarujući malo kašnjenje, dajući mogućnost prilagođavanja brzina prenosa podataka i angažovane energije, uz neograničenu mobilnost;
- Upotrebu masivnog MIMO-a: Implementacija MIMO sistema visokog reda značiće mrežnu arhitekturu koja će omogućiti značajno veći kapacitet, tj. veliki broj korisnika će moći da se povežu unutar istog područja bez smanjivanja brzine prenosa podataka.

Zahvaljujući unaprijeđenim funkcionalnostima, 5G mreže će imati čitav niz prednosti u odnosu na 4G standard:

- Veće brzine prenosa podataka, koje znatno premašuju najbržu širokopojasnu mrežu koja je trenutno dostupna korisnicima. Sa brzinama do 100Gb/s, 5G će biti i do 10 puta brži od 4G.
- Manje kašnjenje u prenosu. Komunikacija između baznih stanica i povezanih uređaja postaće pouzdanija jer će se kašnjenja u prenosu podataka desetostruko smanjiti u odnosu na 4G mreže, čime se stvaraju uslovi za podršku uređajima tipa autonomnih vozila.
- Bolju pokrivenost signalom i veći kapacitet. S obzirom da su 5G ćelije manje i kompaktnije, jednostavnije se instaliraju i zahtijevaju manju potrošnju energije od 4G makroćelija. Moći će da se poveže i do 100 puta više uređaja po kvadratnom kilometru nego što je to slučaj sa 4G mrežama.
- Veću fleksibilnost zahvaljujući mrežnom segmentiranju (*network slicing*). Bez obzira da li se 5G koristi za povezivanje uređaja i stvari ili samo za brzi video *streaming*, *network slicing* omogućava dodjeljivanje specifičnog opsega u zavisnosti od servisa. Tako se, za razliku od situacije u 4G mrežama, mogu dodijeliti do četiri kanala za različite korisničke scenarije u 5G mreži.

Poboljšana bežična širokopojasna konektivnost putem 5G mreža omogućuje niz sekundarnih koristi za privredu, kao i komforniji život ljudi. Neke od oblasti u kojima se očekuje da će 5G sistemi igrati glavnu ulogu su: poljoprivreda, automobilska industrija, građevinska industrija, energetika, komunikacione usluge, finansije, zdravstvo, javna bezbjednost, mediji, trgovina, transport i slično.

U takvom ambijentu, aplikacije mašinskog tipa biće sve prisutnije, uporedo sa humanocentričnim komunikacijama koje su do sada bile dominantne. Procjenjuje se da je broj uređaja koje zahtijevaju međusobnu komunikaciju već reda 50 milijardi. Očekivani napredak bežičnih komunikacija mašinskog i humanocentričnog tipa u mnogim privrednim sektorima dovešće do velike i široke raznolikosti komunikacionih scenarija, uz različite zahtjeve u pogledu troškova, složenosti, potrebne energije, brzine prenosa podataka, kašnjenja, pouzdanosti i slično.

9.3. Arhitektura 5G mreže

Kada je riječ o arhitekturi 5G mreže, može se reći da je došlo do značajnog zaokreta u poređenju sa arhitekturama mreža prethodnih generacija. Mnogi novi koncepti su uvedeni, od kojih su najznačajniji virtuelizacija mreže i *computing* na ivici mreže, dok se radio interfejs nanovo definiše implementacijom naprednijih modulacionih tehnika i inteligentnih antenskih sistema sa više nizova antena. Ideja je da novi dizajn 5G radio interfejsa omogući mnogo više složenih korisničkih scenarija i uvećan kapacitet potreban za realizaciju masivne komunikacije mašinskog tipa, sa ultra malim kašnjenjem i značajno povećanom propusnošću podataka.

Arhitektura 5G mreže može se okarakterisati kao arhitektura zasnovana na servisima (*service based*). U pitanju je sposobnost mreže da, gdje god je to pogodno, predstavi elemente arhitekture kao mrežne funkcije (NF - *Network Functions*) koje nude svoje specijalizovane usluge putem interfejsa zajedničkog okvira, za sve mrežne funkcije kojima je dozvoljeno da koriste date servise. Posebnu ulogu u tome imaju funkcije mrežnog repozitorijuma (NRF - *Network Repository Functions*), jer omogućavaju svakoj mrežnoj funkciji da otkrije servise koje nude ostale mrežne funkcije. Ovaj model arhitekture ima velike prednosti u primjenama povezanim sa virtuelizacijom i softverskim tehnologijama. 5G mreže pružaju i mogućnost operatorima mobilne mreže (MNO - *Mobile Network Operators*) da primijene mrežno segmentiranje (NS - *Network Slicing*), kao posebnu tehnološku novinu. Naime, u 5G kontekstu, NS se odnosi na skup 3GPP definisanih karakteristika i funkcionalnosti koje formiraju kompletnu javnu mobilnu mrežu (PLMN - *Public Land Mobile Network*), koja pruža usluge skupu korisničke opreme (UE - *User Equipment*). Mrežno segmentiranje omogućava da se na kontrolisan način koristi potreban skup PLMN funkcionalnosti i usluga tako da se resursi mreže mogu optimizovati za svaki pojedinačni korisnički scenario. 5G sistemska arhitektura (SA -

System Architecture) sadrži i novi model kvaliteta servisa (QoS - *Quality of Service*), koji omogućava da servisi u okviru mobilnih mreža pete generacije budu mnogo fleksibilniji u poređenju sa mrežama prethodnih generacija.

Još jedna prednost 5G sistema (5GS - *5G Systems*) je uopšteni dizajn funkcionalnosti i unaprijed kompatibilni interfejs između pristupne mreže (AN - *Access Network*) i jezgra mreže, što omogućava zajedničkom 5G jezgru mreže (5GC - *Common 5G Core Network*) da funkcioniše sa različitim pristupnim mrežama. U prvoj fazi razvoja 5G mreža, kako je definisano u 3GPP *Release 15*, mreže za međusobno povezivanje koje je moguće koristiti zajedno sa 5G su 3GPP NG-RAN (*Next Generation Radio Access Network*), i 3GPP definisani *untrusted WLAN (Wireless Local Area Network)*. Kao što je to već pokazano, i 5G mreže će imati svoj put evolucije, a *Release 16* donosi više funkcionalnosti.

Kada je u pitanju arhitektura 5G radio pristupne mreže (RAN), u implementaciji 5G mreža moguće je primijeniti dvije paralelne verzije radio tehnologije, i to:

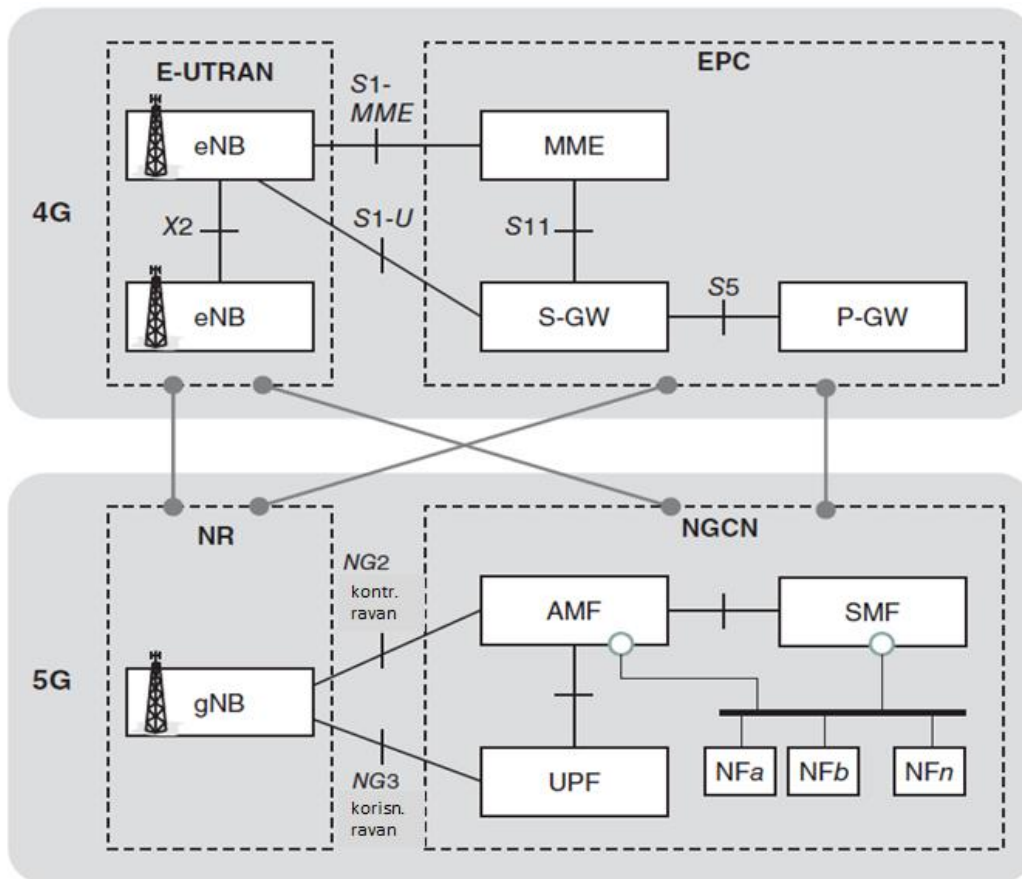
- unaprijeđeni LTE (eLTE - *evolved LTE*), kako je to definisano u 3GPP *Release 15*, u okviru 3GPP *System Architecture Group 2 (SA2)* i
- novi radio (NR) pete generacije.

Takođe, kada je u pitanju arhitektura 5G jezgra mreže, moguće je primijeniti i dvije varijante jezgra u razvoju 5G sistema (5GS), i to:

- EPC (*Evolved Packet Core*), kako je to definisano u 4G SAE (*System Architecture Evolution*) tehničkoj specifikaciji 3GPP-a i
- narednu generaciju jezgra mreže (NGCN - *Next Generation Core Network*).

Scenariji koji predstavljaju samostalnu LTE/EPC i samostalnu NR/NGCN arhitekturu su prikazani na slici 9.3. Na ovoj slici su prikazani neki od najvažnijih novih 5G specifičnih elemenata:

- AMF (*Access and Mobility Management Function*), koji se odnosi na funkciju pristupa i upravljanja mobilnošću,
- UPF (*User Plane Function*), koji se odnosi na funkciju korisničke ravni,
- SMF (*Session Management Function*), koji se odnosi na funkciju upravljanja sesijama i
- NF (*Network Function*), koji se odnosi na mrežne funkcije.



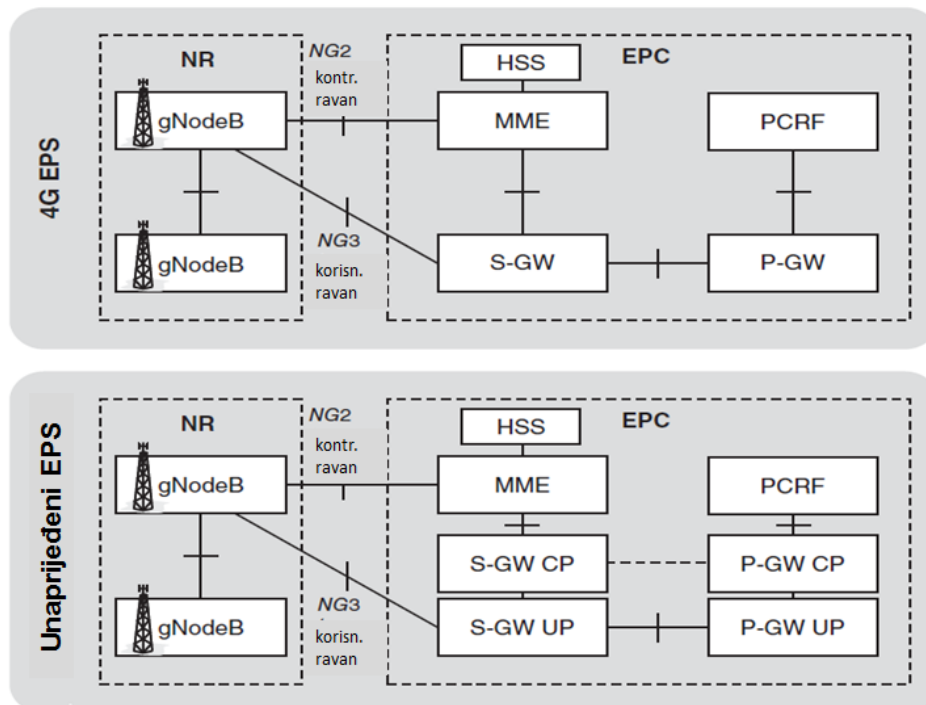
Slika 9.3. Principske arhitekture LTE/EPC i 5G NR/NGCN

Kako je za očekivati da će operatori mobilnih komunikacionih mreža razvoj 5G mreža započeti oslanjanjem na 4G infrastrukturu i na unaprijeđenu 4G EPC podršku, funkcije S-GW (*Serving Gateway*) i P-GW (*Proxy Gateway*) će biti podjeljene na dva dijela: korisničku ravan (UP - *User Plane*) i kontrolnu ravan (CP - *Control Plane*), u skladu sa 3GPP Release 14, što je prikazano na slici 9.4.

Na početku primjene prvih 5G servisa, postojaće samo mali broj terminala koji podržavaju 5G, a i pokrivenost NR-om biće ograničena, pa će postepeno uspostavljanje 5G radio pokrivenosti podrazumijevati da su NR elementi povezani direktno sa LTE radio elementima, kao što je prikazano na slici 9.3. Druga opcija je da se obezbijede oba interfejsa NR-LTE i NR-EPC, za oslanjanje na osnovnu 4G infrastrukturu, bilo putem LTE radija, bilo povezivanjem 5G NR direktno na 4G EPC.

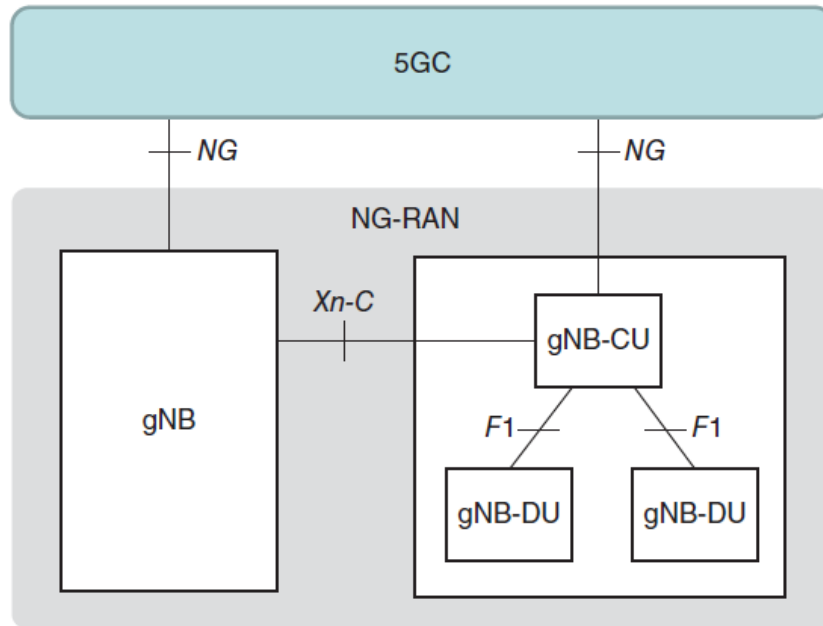
Filozofija funkcionisanja mobilne mreže pete generacije se prilično razlikuje od prethodnih generacija zbog virtuelizacije mrežnih funkcija. Ta činjenica dovodi do novih, optimizovanijih načina za dinamičko korišćenje resursa po potrebi, putem mrežnog segmentiranja (*network slicing*). Mrežni segment (*slice*) odnosi se na logičku mrežu koja pruža određene mrežne mogućnosti i karakteristike mreže. Operator mobilne mreže može imati nekoliko ovakvih mrežnih segmenata koji se mogu konfigurisati i optimizovati za

specifične slučajeve primjene i specifične tipove okruženja, kao što su širokopojasne komunikacije, kritične komunikacije i masivni IoT (mIoT - *Massive Internet of Things*). Isto tako, osnovni parametri svakog segmenta mogu se prilagoditi odvojeno, uključujući i nivo bezbjednosti.



Slika 9.4. Arhitektura za početno uspostavljanje 5G servisa daljim razvojem 4G mreža

Arhitektura 5G mreže može se prikazati na dva načina: predstavljanjem putem referentne tačke ili predstavljanjem preko interfejsa zasnovanog na servisu. Arhitektura i interfejsi 3GPP 5G mreže u tradicionalnom formatu referentnih tačaka prikazana je na slici 9.5, gdje je sa 5GC označeno 5G jezgro mreže, dok je sa NG-RAN označena radio-pristupna mreža nove generacije. U arhitekturi prikazanoj na slici 9.5, 5G jezgro obuhvata isti tip mrežnih elemenata kao LTE EPC prije definisanja *Release 15* specifikacija: entitet za upravljanje mobilnošću (MME - *Mobility Management Entity*), S-GW, P-GW i prateće elemente, kao što su *policy* pravila dodata od različitih funkcionalnih 5G elemenata.



Slika 9.5. 5G arhitektura u tradicionalnom formatu referentnih tačaka

U radio-pristupnom dijelu 5G sistema, elementi bazne stanice se nazivaju gNB, ili NodeB sljedeće generacije. NG interfejs međusobno povezuje gNB elemente, koji se nalaze u sklopu NG-RAN-a, sa 5G jezgrom mreže. Xn mrežni interfejs se koristi između NG-RAN čvorišta.

U 5G mreži, gNB elementi mogu podržati FDD i TDD tip dupleksa, kao i dualni režim rada. Elementi gNB su međusobno povezani preko Xn-C interfejsa.

NG-RAN je definisan preko slojeva radio mreže (RNL - *Radio Network Layer*) i transportne mreže (TNL - *Transport Network Layer*). NG-RAN interfejsi su definisani kao dio RNL-a, dok TNL omogućava prenos signalizacije i usluge prenosa podataka korisničkoj ravni.

Svaki gNB se može sastojati od jedne 5G NodeB centralizovane jedinice (gNB-CU - *5G NodeB-Centralized Unit*) i skupa 5G NodeB distribuiranih jedinica (gNB-DU - *5G NodeB-Distributed Units*). Veza unutar gNB-a, između gNB-CU i gNB-DU, odvija se preko F1 interfejsa, bilo da je jedan gNB-DU povezan samo sa jednim gNB-CU ili, u zavisnosti od primjene, da pojedinačni gNB-DU mogu biti povezani sa više gNB-CU elemenata. Veze od drugih gNB elementa ka datom gNB elementu i od 5GC se uvijek završavaju na gNB-CU elementu.

Tabela 9.2 - Mrežne funkcije i elementi 3GPP 5G sistema

NF	Opis	Mapiranje sa 4G
5G-EIR	Registar opreme <i>Equipment identity register</i>	Evolucija LTE EIR
AF	Aplikativna funkcija <i>Application function</i>	Nivo aplikacije 5G-a, uporedivo sa LTE AS i gsmSCF
AMF	Funkcija upravljanja pristupnom mobilnošću <i>Access and mobility management function</i>	Zamjenjuje LTE MME
AUSF	Funkcija autentifikacije servera <i>Authentication server function</i>	Zamjenjuje LTE MME/AAA
NEF	Funkcija izloženosti mreže <i>Network exposure function</i>	Evolucija SCEF i API (<i>application programming interfaces</i>) nivoa
NRF	Funkcija NF repositorijske funkcije <i>NF repository function</i>	Dio evolucije DNS-a
NSSF	Funkcija selekcije mrežnog segmenta <i>Network slice selection function</i>	Nova funkcija za 5G- specifični koncept mrežnog segmentiranja
PCF	<i>Policy</i> kontrolna funkcija <i>Policy control function</i>	Evolucija LTE PCRF (<i>Policy and Charging Enforcement Function</i>)
SEPP	<i>Security edge protection proxy</i>	Novi element za bezbjednu međupovezanost 5G mreža
SMF	Funkcija upravljanja sesijom <i>Session management function</i>	Zamjenjuje 5G UPF LTE S- GW i P-GW
UDM	<i>Unified data management</i>	Evolucija HSS i UDR
UDR	<i>Unified data repository</i>	Evolucija LTE SDS (<i>Structured Data Storage</i>)
UDSF	<i>Unstructured data storage function</i>	Funkcija uporediva sa LTE SDSF (<i>Structured Data Storage Network Function</i>)
UPF	Funkcija korisničke ravni <i>User plane function</i>	Zamjenjuje SMF LTE S-GW i P-GW

9.4. 5G radio pristupna mreža

Pošto je za implementaciju mobilnih mreža pete generacije opredijeljen najširi set frekvencija ikada korišćen za implementaciju mobilnih komunikacionih mreža, odgovarajuće planiranje radio mreže će doživjeti velike promjene. Radio interfejs 5G mreža doživljava suštinske promjene u odnosu na radio pristupnu mrežu sistema prethodnih generacija. Glavni razlog za takvu promjenu su potpuno nove mogućnosti 5G bežičnog pristupa, koje treba da omoguće nove scenarije primjene, koji su po zahtjevanim performansama daleko iznad performansi prethodnih mobilnih komunikacionih sistema.

Izvorni, 5G specifični, radio interfejs se naziva novi radio (NR – *New Radio*), i uključuje proširenje podržanih frekvencija na više frekvencijske opsege, daleko iznad 6GHz. Pored toga, pristupni i *backhaul* podsistem će biti čvršće integrisani. U 5G mreži se posebno tretira podrška komunikaciji od uređaja do uređaja (D2D – *Device to Device*), pri čemu se tako podržava ogroman broj istovremeno konektovanih uređaja, kao što su vozila, mašine, inteligentni senzori i slično.

U Tabeli 9.3 dat je detaljniji uporedni prikaz relevantnih parametara 4G i 5G radio interfejsa.

Osnovno poboljšanje u mobilnim mrežama pete generacije ogleda se u sposobnosti upravljanja mnogo većim brzinama prenosa podataka i pružanja znatno većeg kapaciteta za istovremeno komuniciranje ljudi i uređaja. Da bi odgovorile ovim zahtjevima, 5G mreže treba da obezbijede radio opremu sa podrškom širih propusnih opsega. Između ostalog, u radio dijelu sistema se opredjeljuje više novih opsega učestanosti ispod i iznad 6GHz. Odluku o globalno harmonizovanim opsezima donosi ITU-R, dok primjena po državama zavisi od regulatora svake od njih. Razmatrane su mnoge varijante frekvencijskih opsega sve do nivoa 100GHz. Konačna odluka svakog regiona i države zasniva se na kompletnoj slici entiteta kojima su frekvencije potrebne.

Tabela 9.3. Poređenje ključnih karakteristika 4G i 5G radio interfejsa

Karakteristike	4G LTE	5G NR
Kodiranje za podatke	Turbo	LDPC
Kodiranje za kontrolne podatke	TBCC	Polar
<i>Uplink</i> modulaciona šema	SC-FDMA	DFT-S-OFDM; OFDM (opciono)
<i>Downlink</i> modulaciona šema	OFDM	OFDM
Širina opsega (MHz)	1,4,3,5,10,15,20	5,...,100 (ispod 6GHz)

		50,...,400 (iznad 6GHz)
Separacija podnosilaca (KHz)	15 (<i>unicast</i> , MBMS) 7.5/1.25 (MBMS dodijeljeni podnos.)	30,60,120: 240 (ne za podatke)
Maksimalna agregacija podnosilaca (CC)	32	16
Max. MIMO portova	8 (SU-MIMO) 2 (MU-MIMO)	8 (SU-MIMO) 16 (MU-MIMO)
HARQ	TB	TB, <i>code block</i>

Radio frekvencijski opsezi za 5G su veoma raznorodni, od niskih opsega na 700MHz za pokrivanje rijetko naseljenih područja, do izrazito visokih, reda 70GHz, za funkcionalne ćelije vrlo malog dometa koje se gusto implementiraju u urbanim sredinama gdje je potrebno velikom broju korisnika obezbjediti veoma visoke informacione kapacitete.

Frekvencijski opsezi za 4G LTE mreže definisani su u 3GPP TS 36.104 specifikaciji, dok su 5G opsezi definisani u 3GPP TS 38.104 specifikaciji. Opsezi 5G NR frekvencija definisani su u 3GPP 38.104 specifikaciji. U Tabeli 9.4 su date 5G NR radio frekvencije i opsezi, za verziju 15.1.0. Kao što se može vidjeti iz ove Tabele, mnogi opsezi se dijele sa LTE opsezima (5G opsezi n1 – n76 i 4G LTE opsezi 1–76), dok je ostatak 5G NR opsega nov (n77 – n84 i n257, n258 i n260).

Dodatni opsezi za potrebe 5G mobilnih komunikacionih sistema su identifikovani na ITU-R WRC-19 konferenciji. Tokom identifikovanja frekvencijskih opsega 24.25-27.5GHz, 37-43.5GHz, 45.5-47GHz, 47.2-48.2GHz i 66-71GHz za implementaciju 5G mreža, preduzete su odgovarajuće mjere za zaštitu EES (*Earth Exploration Satellite*) servisa, uključujući meteorološke i druge pasivne usluge u susjednim opsezima.

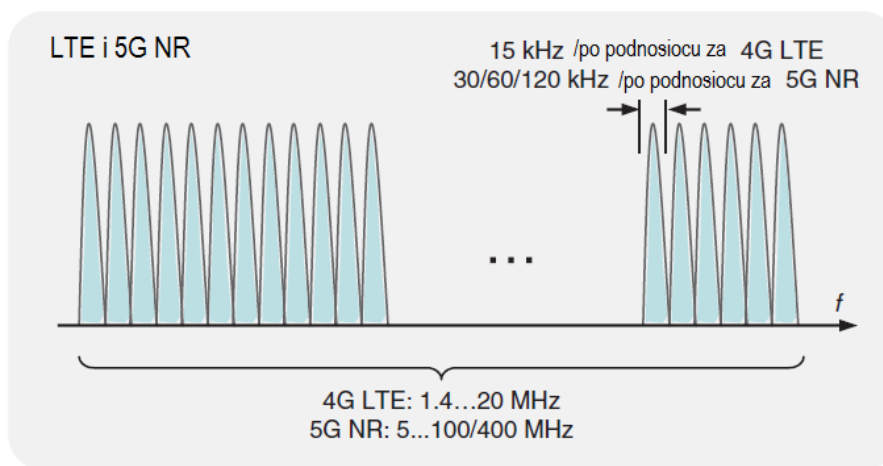
Tabela 9.4. Frekvencijski opsezi za NR prema 3GPP TS 38.104

CH	$f_{UL, low}$ MHz	$f_{UL, high}$ MHz	$f_{DL, low}$ MHz	$f_{DL, high}$ MHz	Mod
n1	1920.0	1980.0	2110.0	2170.0	FDD
n2	1850.0	1910.0	1930.0	1990.0	FDD
n3	1710.0	1785.0	1805.0	1880.0	FDD
n5	824.0	849.0	869.0	894.0	FDD
n7	2500.0	2570.0	2620.0	2690.0	FDD
n8	880.0	915.0	925.0	960.0	FDD
n20	832.0	862.0	791.0	821.0	FDD
n28	703.0	748.0	758.0	803.0	FDD
n38	2570.0	2620.0	2570.0	2620.0	TDD
n41	2496.0	2690.0	2496.0	2690.0	TDD
n50	1432.0	1517.0	1432.0	1517.0	TDD
n51	1427.0	1432.0	1427.0	1432.0	TDD
n66	1710.0	1780.0	2110.0	2200.0	FDD
n70	1695.0	1710.0	1995.0	2020.0	FDD
n71	663.0	698.0	617.0	652.0	FDD
n74	1427.0	1470.0	1475.0	1518.0	FDD
n75	N/A	N/A	1432.0	1517.0	SDL
n76	N/A	N/A	1427.0	1432.0	SDL
n77	3300.0	4200.0	3300.0	4200.0	TDD
n78	3300.0	3800.0	3300.0	3800.0	TDD
n79	4400.0	5000.0	4400.0	5000.0	TDD
n80	1710.0	1785.0	N/A	N/A	SUL
n81	880.0	915.0	N/A	N/A	SUL
n82	832.0	862.0	N/A	N/A	SUL
n83	703.0	748.0	N/A	N/A	SUL
n84	1920.0	1980.0	N/A	N/A	SUL
n257	26 500.0	29 500.0	26 500.0	29 500.0	TDD
n258	24 250.0	27 500.0	24 250.0	27 500.0	TDD
n260	37 000.0	40 000.0	37 000.0	40 000.0	TDD

Za IMT 2020 sisteme je identifikovana ukupna širina spektra od 17.25GHz, što je za skoro red veličine više u poređenju sa 1.9GHz širine spektra dostupnog prije WRC-19. Od ovog iznosa, širina od 14.75GHz spektra usaglašena je globalno, dostigavši 85% globalne harmonizacije.

Za ostvarivanje zahtjeva koji se postavljaju pred radio pristupnu mrežu 5G sistema neophodne su tehnologije koje će omogućiti njihovu podršku. Neka od rješenja ključnih radio tehnologija za 5G mobilne mreže koje mogu doprinijeti da se postignu performanse u skladu sa strogim ITU-R zahtjevima za IMT-2020 sisteme su:

OFDM u 5G mreži - 3GPP specifikacijama je odabran CP-OFDM (*Cyclic Prefix - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) talasni oblik za 5G NR (Slika 9.6). OFDM modulacija je odabrana kao osnova za 5G iz nekoliko razloga: OFDM je spektralno efikasan i za UL (*uplink*) i za DL (*downlink*); OFDM omogućava fluentno korišćenje MIMO-a, koji pruža visoku spektralnu efikasnost i putem jednokorisničkog MIMO-a (SU-MIMO) i putem višekorisničkog MIMO-a (MU-MIMO); u kombinaciji sa adaptivnom tehnologijom *beamforming*-a, OFDM doprinosi nadoknađivanju gubitka radio-propagacije na visokim frekvencijama; velike brzine kretanja korisnika zahtijevaju robusnost za vremensku selektivnost kanala, OFDM sistem se pravilnim odabirom podnosilaca može učiniti otpornijim na fazni šum; složenost OFDM prijemnika u osnovnom opsegu je mala; OFDM ciklični prefiks čini ga otpornim na greške sinhronizacije...



Slika 9.6. Širina kanala i separacija između kanala u LTE i 5G sistemima

Neortogonalni višestruki pristup u 5G mreži - Teorijski, sistemi zasnovani na potpunoj ortogonalnosti ne doživljavaju međukorisničku interferenciju (MUI - *Multi User Interference*) zbog ortogonalne alokacije resursa.

Međutim, kako je broj ortogonalnih resursa ograničen, potpuno ortogonalni sistemi ne mogu da opslužuju veliki broj korisnika, kako to zahtijevaju servisi podržani mobilnim mrežama pete generacije. Za razliku od njih, neortogonalni višestruki pristup (NOMA - *Non-Orthogonal Multiple Access*) dozvoljava interkorisničku interferenciju u alokaciji resursa korisnika i na taj način više korisnika se opslužuje pomoću istog bloka resursa. U poređenju sa ortogonalnim višestrukim pristupom, neke od ključnih prednosti koje nudi NOMA su: visoka spektralna efikasnost, koja je postignuta opsluživanjem više korisnika korišćenjem istog bloka resursa, što poboljšava propusnost sistema; masivna konektivnost, neophodna za masivni IoT koji se odnosi na umrežavanje uređaja čiji se broj mjeri milijardama: fer korišćenje resursa korisnika, koje se ogleda u dodjeljivanju snage koja omogućava NOMA sistemu da napravi kompromis između

pravičnosti među korisnicima i propusnosti; niska latencija (kašnjenje) koja se ostvaruje neortogonalnim pristupom.

Milimetarski talasi -

Bežični komunikacioni sistemi koji rade na milimetarskim talasnim područjima (*mm-wave*) se smatraju jednim od obećavajućih rješenja za povećanje raspoloživosti frekvencijskih resursa. Zahvaljujući maloj talasnoj dužini, u ovom području frekvencija moguće je upotrijebiti više antenskih nizova sa odgovarajućim razmacima na primopredajnicima, u poređenju sa nižim frekvencijskim opsezima. Primjenu milimetarskih talasa, međutim, prati nekoliko tehničkih izazova. Tačnije, signali u milimetarskom području su veoma osjetljivi na prepreke, kao što su zgrade i ljudska tijela, tako da je jedna od njihovih glavnih karakteristika veliko propagaciono slabljenje.

Koncept malih ćelija - Kao što je već rečeno, za implementaciju 5G mobilnih komunikacionih mreža opredijeljen je najširi mogući set frekvencija, uključujući i one koje su prema 3GPP-u označene sa FR2. U ovom frekvencijskom opsegu blokovi frekvencija koji se mogu dodijeliti dostižu širinu od čak 400MHz. To znači da se ovakvim frekvencijskim blokovima mogu podržati izuzetno visoke brzine pristupa korisnika 5G sistemu, uključujući i *hotspot*-ove. Istovremeno se na frekvencijama unutar FR2 opsega ostvaruju mali dometi komunikacije (manji od 200m), pa pokrivanje urbanih sredina primjenom malih ćelija (*small cells*), u *outdoor* okruženju sa direktnom linijom vidljivosti (LoS), podrazumijeva koncept razvoja gustih pristupnih tačaka.

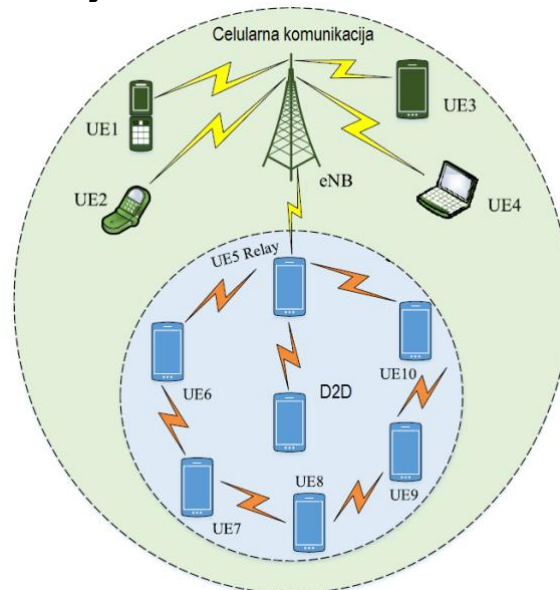
Masivni MIMO -

MIMO se smatra jednom od ključnih bežičnih tehnologija skoro cijelu jednu deceniju. Između ostalog, omogućava povećani kapacitet i bolju energetska efikasnost. MIMO sistemi su podijeljeni u dvije glavne kategorije: *point-to-point* MIMO i *multi-user* MIMO. Kod *point-to-point* MIMO sistema, i krajnji korisnik i bazna stanica (BS) su opremljeni sa više antena, ali se samo jedan korisnik se opslužuje u datom momentu. Nasuprot tome, *multi-user* MIMO sistemi mogu da opsluže više krajnjih korisnika. U cilju daljeg povećanja informacionog kapaciteta i povećanja dobitka multipleksiranja, uveden je koncept masivnog MIMO gdje je bazna stanica opremljena velikim brojem antena, koje se koriste za podršku saobraćaju gigabitnog nivoa istovremeno prema mnogim aktivnim korisnicima.

Komunikacija između uređaja (D2D) -

U komunikaciji između uređaja (Device-To-Device, D2D), prenos podataka je usko lociran, direktno sa uređaja na uređaj, i nije neophodno da podaci prolaze kroz RAN ili jezgro mreže. Najnovije studije su pokazale da se zbog kratkog rastojanja između uparenih uređaja i direktne komunikacije povećava energetska efikasnost i smanjuju kašnjenja u mobilnoj mreži. Primjer D2D komunikacije zajedno sa ćelijskom komunikacijom prikazan je

u heterogenom ćelijskom okruženju na slici 9.10, gdje upareni uređaji direktno komuniciraju jedni sa drugima, a uređaji za celularnu komunikaciju komuniciraju sa eNB-om.



Slika 9.10. Realizacija D2D komunikacija u mobilnoj mreži pete generacije

Novi radio interfejs (NR)

3GPP 38.300 specifikacija definiše 5G NR interfejs i njegove sljedeće funkcionalnosti:

- Arhitekturu protokola i funkcionalnu podjelu;
- Interfejse;
- Arhitekturu radio protokola;
- Kanale i procedure za *uplink* i *downlink* komunikaciju;
- Kontrolu pristupa medijumu za prenos (MAC – *Medium Access Control*);
- Kontrolu radio linkova (RLC – *Radio Link Control*);
- PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) protokol i upravljanje radio resursima (RRC – *Radio Resource Control*);
- Mobilnost i modove;
- *Scheduling*;
- Ključne funkcionalnosti i mogućnosti korisničke opreme;
- Kvalitet servisa (QoS);
- Sigurnost;
- Samokonfiguraciju i samo-optimizaciju (SON – *Self Optimizing Network*).

5G radio mreža ima svoj put evolucije. Međukorak na tom putu je nesamostalni (NSA – *Non Standalone*) 5G, sa elementom bazne stanice nazvanim ng-eNB. Na osnovu 3GPP specifikacija, to je čvorište koje pruža E-UTRA završetak protokolima korisničke i kontrolne ravni prema korisničkoj opremi. Povezan je preko interfejsa naredne generacije (NG -

Next Generation) na 5G jezgro mreže (5GC). Prema tome, ovo čvorište je 4G eNodeB koje može da funkcioniše u okviru 5G mreže.

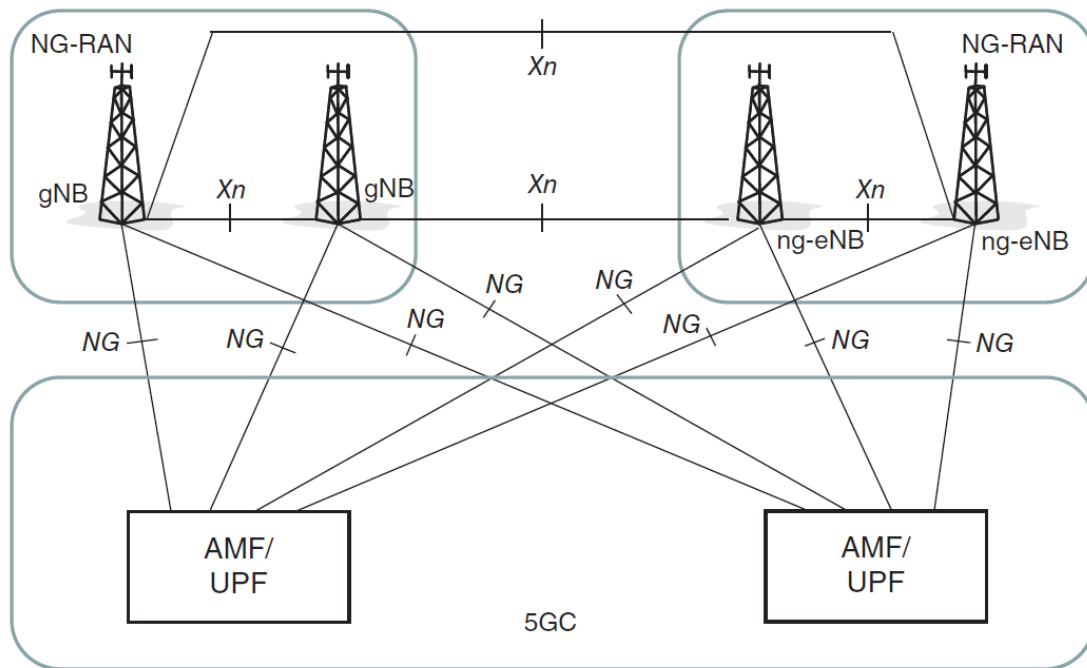
U potpuno razvijenoj samostalnoj (SA – *Stand Alone*) radio mreži 5G radio bazna stanica se označava kao gNB. To je čvorište koje pruža završetak NR protokola korisničke i kontrolne ravni prema korisničkoj opremi. Preko NG interfejsa povezan je sa 5G jezgrom mrežom.

Dakle, u 5G radio pristupnoj mreži (NG-RAN) čvorišta (bazne stanice) mogu biti ili gNB (koji se efektivno odnosi na potpuno 5G baznu stanicu) ili ng-eNB (koja je radio bazna stanica zasnovana na 4G). Ovi gNB i ng-eNB elementi međusobno su povezani preko Xn interfejsa sa radio mrežom. Oba elementa su dalje povezana preko NG interfejsa do 5G jezgra mreže. Ovaj interfejs je podijeljen na korisnički i kontrolni dio. Kontrolni interfejs se naziva NG-C i povezuje baznu stanicu sa AMF funkcijom. Korisnički interfejs naziva se NG-U i on povezuje baznu stanice sa UPF funkcijom. Ovi interfejsi su opisani u 3GPP TS 23.501 specifikaciji, dok funkcionalni interfejsi podrazumjevaju podjelu kontrolne i korisničke ravni i opisani su u 3GPP TS 38.401 specifikaciji.

Na slici 9.11 prikazana je 5G NG-RAN arhitektura.

Samostalni 5G NodeB (gNB) i nesamostalni 4G NodeB (ng-eNB) obavljaju sljedeće funkcije:

- upravljanje radio resursima (RRM),
- upravljanje IP zaglavljem,
- upravljanje AMF-om,
- rutiranje;
- podešavanje i prekidanje konekcije,
- *scheduling*,
- mjerenja,
- označavanje paketa,
- upravljanje sesijama,
- mrežno segmentiranje,
- QoS funkcije,
- podršku UE u RRC_INACTIVE stanju,
- distribuciju NAS poruka,
- segmentaciju RAN mreže,
- dualnu konektivnost,
- čvrsto međusobno povezivanje NR i E-UTRA.



Slika 9.11. Arhitektura 5G radio mreže

Upravljanje radio resursima (RRM) od strane gNB i ng-eNB uključuje kontrolu radio prenosa, kontrolu konektivnosti i mobilnosti, *scheduling*, koji se odnosi na dinamičku alokaciju resursa za skup korisničkih uređaja i na *uplink*-u i na *downlink*-u. Nadalje, IP 5G gNB-a omogućava kompresiju podataka upravljanjem zaglavljem, šifrovanje i zaštitu integriteta. gNB se povezuje sa AMF funkcijom. Upravljanje povezanih AMF-ova sa strane gNB-a, odnosi se na izbor AMF-a nakon priključenja korisničkog uređaja, u onim scenarijima kada AMF ne može odrediti informacije o rutiranju iz UE poruka.

5G radio interfejs podržava skup modulacija, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM. Podržane modulacione šeme navedene su u Tabeli 9.5.

Tabela 9.5. 5G modulacione šeme

	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM	256QAM
<i>Downlink</i>		✓	✓	✓	✓
<i>Uplink, OFDM, CP</i>		✓	✓	✓	✓
<i>Uplink, DFT-s-OFDM, CP</i>	✓	✓	✓	✓	✓

Uzimajući u obzir da su već aktuelna istraživanja za sisteme nakon 5G (*beyond 5G*), javljaju se ideje o tome šta bi mogli biti zahtjevi za 6G. Nove aplikacije, kao što je holografija, mogu zahtijevati brzinu prenosa podataka reda Tb/s, što su za oko tri reda veličine veće brzine od brzine prenosa podataka koje se očekuju u okviru 5G mreža. Uz eksponencijalno povećanje i širenje IoT uređaja u budućnosti, neophodno je dodatno poboljšati povezivanje i pokrivenost 5G IoT-a. Trenutne mrežne

konfiguracije/optimizacije obično se ostvaruju manuelno, što neće biti pogodno u sve složenijim budućim mrežnim konfiguracijama. Očekuje se da će 6G pružiti odgovarajuća rješenja za prevazilaženje, između ostalog, i navedenih ograničenja. Konkretno, 6G treba da uključi tri glavna aspekta, a to su mobilna ultra-širokopolasna mreža (UMB - *Ultra Mobile Broadband*), super IoT i vještačka inteligencija (AI - *artificial intelligence*). Mobilni ultra širokopolasni pristup bi mogao osigurati prenos brzinama reda Tb/s. Super IoT može poboljšati mogućnost povezivanja i pokrivenost trenutnog IoT-a. Vještačka inteligencija može inteligentno konfigurirati/optimizirati bežičnu mrežu u budućnosti. Tačnije, THz komunikacija može se koristiti za podršku mobilne ultra-širokopolasne mreže, dok se simbiotski radio i satelitske komunikacije mogu koristiti za postizanje super IoT-a, a tehnike mašinskog učenja su obećavajući kandidati za vještačku inteligenciju.

Ipak, ovo su još uvijek samo ideje koje su predmet istraživanja, pri čemu standardizacija 6G sistema nije započeta.