

# Analiza razvoja 5G tehnologije

---

Jozić, Izabel

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:964823>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Izabel Jozić**

**Analiza razvoja 5G tehnologije**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2021**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**Analiza razvoja 5G tehnologije  
Analysis of 5G Tehnology Development**

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Forenbacher

Student: Izabel Jozić

JMBAG: 0135243993

**Zagreb, 2021**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 28. travnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6150

Pristupnik: **Izabel Jozić (0135243993)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza razvoja tehnologije 5G**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati evolucijski razvoj mobilnih generacija i razloge uvođenja mreže 5G. Analizirati standardizacijske okvire 5G tehnologije. Objasniti arhitekturu 5G mreže i navesti slučajeve uporabe.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Ivan Forenbacher

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

# Sadržaj

1. UVOD .....	6
2. RAZVOJ MOBILNIH GENERACIJA .....	8
2.1. 1G-5G .....	8
3. RAZLOZI UVOĐENJA 5G.....	10
3.1. Komparacija 4G i 5G tehnologije.....	11
4. STANDARDIZACIJA 5G TEHNOLOGIJE .....	14
5. MREŽNA ARHITEKTURA PETE GENERACIJE .....	16
5.1. Arhitektura 5G mreže .....	16
5.2 Male ćelije .....	18
5.3 Milimetarski valovi.....	19
5.4 Oblikovanje snopa .....	20
5.5 Full Duplex .....	22
5.6 Virtualizacija RAN-a.....	22
5.7 Device-to-Device Communications .....	23
5.8 Machine to Machine (M2M) .....	24
5.9 Samoorganizirajuća mreža .....	25
5.10 Ultra - gusta mreža .....	26
6. MASSIVE MIMO .....	28
7. 5G USLUGE I SLUČAJEVI UPOTREBE – USE CASE .....	30
7.1 Primjeri slučajeva upotrebe .....	30
7.1.1. Automobilska industrija .....	30
7.1.2 Internet stvari.....	31
7.1.3 Zdravstvo .....	34
7.1.4 Proizvodnja.....	35
7.1.5 Mediji i zabava .....	35
7.2 Vrsta 5G mreža za realizaciju slučajeva upotrebe.....	36
7.2.1 eMBB.....	38
7.2.2 uRLLC .....	38
7.2.3 mMTC .....	39
8. Zaključak.....	40
LITERATURA.....	41
POPIS SLIKA.....	43
POPIS TABLICA.....	44
POPIS KRATICA .....	45

## **SAŽETAK**

5G mreža neće biti postupno poboljšanje u odnosu na svoje prethodnike. Ona ima za cilj značajan skok naprijed u smislu brzine prijenosa podataka, latencije, masivne povezanosti, mrežne pouzdanosti i energetske učinkovitosti. Te su mogućnosti usmjerene na ostvarivanje brze povezanosti, Interneta stvari, proširene virtualne stvarnosti, taktilnog interneta i slično. Očekuje se da će zahtjevi pete generacije biti ispunjeni novim frekvencijskim spektrom i korištenjem velikih širina pojasa dostupnih u mm-valnim opsezima, velikim antenskim nizovima, usmjeravanjem snopa, progušćivanjem mreže pristupnim čvorovima i novim valnim oblicima koji pružaju skalabilnost i fleksibilnost udovoljavaju različitim zahtjevima 5G usluga. U ovom radu fokus je na pregledu istraživanja 5G mreže, ispitivanja standardizacije, izazova u implementaciji, identificiranja vodeće tehnologije, zahtjevima vertikalne industrije te udovoljavanju tih zahtjeva.

Ključne riječi: 5G mreža, nove tehnologije, mm-valovi, male ćelije, vertikalna industrija

## **ABSTRACT**

The 5G network will not be a gradual improvement over its predecessors. It aims for a revolutionary leap forward in terms of data transfer speed, latency, massive connectivity, network reliability and energy efficiency. These capabilities are aimed at achieving fast connectivity, the Internet of Things, augmented virtual reality, tactile internet and so on. The fifth generation requirements are expected to be met by the new spectrum and by using the large bandwidths available in mm-wavelength bands, large antenna arrays, beam routing, network thickening and new wavelengths forms, which provide scalability and flexibility to meet the different requirements of 5G services. This paper focuses on reviewing 5G network research, standardization testing, implementation challenges, identifying leading technology, vertical industry requirements, and meeting these requirements.

Key words: 5G network, new technologies, mm-waves, small cells, vertical industry

## 1. UVOD

Većina dosadašnjih generacija mobilnih mreža je ograničena resursima, uključujući i kapacitetom u odnosu na 5G, što predstavlja potencijalni problem u vršnim satima, prvenstveno u IoT okruženju. Posljednjih nekoliko godina postoji nagli rast prometne potražnje, u kojoj dominira video sadržaj, te promjena paradigme u pogledu korištenja usluga. Sljedećih godina također će se svjedočiti daljnjem, dramatičnijem povećanju povezivanja machine-to-machine, zbog progresivnog uvođenja prometa i usluga Internet-of-Things (IoT). Dapače, mnoge će usluge, koje su kritične zbog kašnjenja, morati podržati 5G mreže. Takve će usluge transformirati djelatnosti u raznim granama gospodarstva, kao što su automobilska industrija i mobilnost, tvornice budućnosti, zdravstvo, mediji i zabava, energetika, a stvorit će i nove izvore prihoda za mnoge dionike, na primjer za operatore, dobavljače, sadržaje i pružatelje usluga.

Uvođenjem novih sadržaja, poput videozapisa i holograma od 360 stupnjeva i novih koncepata usluga, poput pametnog prijevoza i komunikacije strojnog tipa, mogu se razviti buduće 5G usluge u nekoliko pravaca, poput neograničenog prijenosa podataka, masivan broj aktivnih veza i nove vrste mobilnih uređaja, posebno senzora s održivim izvorima energije.

Opseg usluga 5G nije ograničen na osobne komunikacije, već se proteže na područja društva, uključujući mobilne telefone, nosive uređaje, senzore, aktuatore, vozila, robote i tako dalje. Stoga 5G mreže se mogu smatrati ključnom infrastrukturom koja inovira društvo, kao i ICT industriju. Istraživanje usluga 5G i njihove tehničke zahtjeve izvršio je ITU-R i 3GPP. Predloženi scenariji korištenja grupirani su u tri kategorije: poboljšani mobilni širokopolasni pristup (eMBB), masivne komunikacije strojnog tipa (mMTC) i ultra pouzdane komunikacije s niskim kašnjenjem (URLLC). Vršna brzina podataka, površinski promet kapacitet, energetska učinkovitost mreže, gustoća veze, latencija, mobilnost, učinkovitost spektra i brzine podataka koje koriste korisnici su ključni pokazatelji uspješnosti (KPI) 5G mreže.

Tema završnog rada je *razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije* te se sastoji od sljedećih 7 cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj mobilnih generacija
3. Razlozi uvođenja 5G
4. Standardizacija 5G tehnologije
5. Mrežna arhitektura pete generacije
6. 5G usluge i slučajevi upotrebe – Use Cases
7. Zaključak

U drugom poglavlju napraviti će se kratak osvrt o razvoju mobilnih mreža kroz generacije odnosno njihove karakteristike.

Nakon toga treće poglavlje će obuhvaćati razloge uvođenja 5G mreže, sve prednosti i inovacije koje donosi te komparaciju 4G i 5G mobilnih generacija, odnosno njihove razlike.

U četvrtom poglavlju bit će riječ o standardizacijskim tijelima koji su radili na 5G mreži i njihovim aktivnostima.

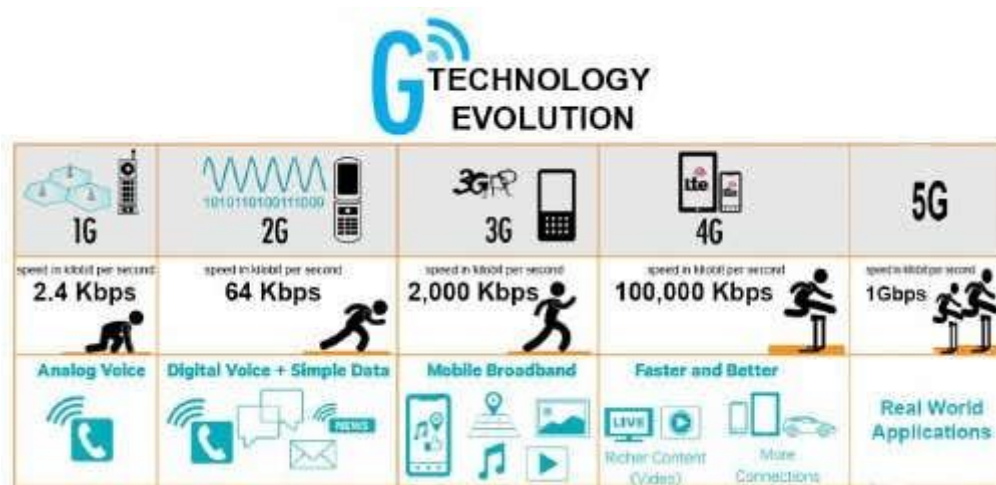
Peto će poglavlje analizirati mrežnu arhitekturu pete generacije te obrađivati tehnologije koje nam donosi.

Šesto poglavlje bavit će se 5G uslugama te njihovim zahtjevima.



## 2. RAZVOJ MOBILNIH GENERACIJA

Davatelji telekomunikacijskih usluga i tehnološke kompanije širom svijeta zajedno rade na razvoju novih tehnoloških rješenja kako bi zadovoljili sve veće potrebe za mobilnim podacima od potrošača i industrijskih korisnika. Razvoj bežične tehnologije započeo je početkom 1970-ih, a razvoj mobilne bežične tehnologije projicirao se od 1G do 5G tehnologije u narednih četiri desetljeća.



Slika 1 Evolucija generacija mobilnih mreža

Izvor: [11]

### 2.1. 1G-5G

Mobilna mreža prve generacije razvijena je 1980-ih, a dovršena je početkom 1990-ih. Tehnologije prve generacije (1G) donijele su potrošačima prvi mobilni telefon. Koristila je analogne radiosignale s frekvencijom 150 MHz i modulacijom glasovnog poziva koja se obavljala uz pomoć *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*. [11] Njegova brzina bila je do 2,4 kbps i dopuštala je korisnicima upućivanje glasovnih poziva unutar zemlje. Nudila je ograničenu pokrivenost i kapacitet.

Slijedom toga, mobilna tehnologija 2G (druge generacije) pokrenuta je 1991. 2G je druga generacija bežičnog telefona koji se temelji na digitalnim tehnologijama. Telefonska tehnologija druge generacije (2G) temelji se na GSM-u ili drugim riječima globalnom sustavu za mobilnu komunikaciju. 2G tehnologije omogućile su raznim mrežama mobilnih telefona

pružanje usluga kao što su tekstualne poruke, slikovne poruke i MMS (multimedijske poruke). 2G tehnologija je učinkovitija, sigurnija te su sve tekstualne poruke digitalno šifrirane. Tehnologije druge generacije su višestruki pristup s vremenskom podjelom (TDMA) i višestruki pristup s podjelom koda (CDMA).

Nadalje, 3G (treće generacije) mobilna mreža razvijena je u razdoblju od kraja 1990-ih do početka 2000-ih. Njena brzina prijenosa bila je između 125 kbps do 2 Mbps. Podaci su se slali pomoću komutacije paketa, a za govorne pozive korištena je komutacija kanala. Omogućila je zadovoljavajuću govornu kvalitetu govornu kvalitetu, ali i videokonferencije, e-poštu, naplatu putem interneta, globalni roaming, mobileTV i slično. Time su uvedeni i pametni telefoni pa su ljudi počeli upotrebljavati mobilne telefone kao računala za poslovne i zabavne sadržaje, uveliko povećavajući potražnju za podacima.

Nakon 3G mobilne mreže razvijena je tehnologija 4G (četvrte generacije) 2010. godine. 4G tehnologija nudila je povećane brzine do 100 Mbps te mobilnu širokopojasnu vezu, koja može podržavati glazbu i video streaming, mobilne aplikacije i mrežno igranje. Osigurala je poboljšanu komunikacijsku mrežu temeljenu na IP-u. Omogućene su visoke performanse uz nisku cijenu. *Long Term Evolution* (LTE) smatran je glavnom tehnologijom za 4G. Usluga multimedijskih poruka (MMS), digitalno video emitiranje, televizija visoke razlučivosti (HD) i video chat usluge su koje nudi 4G uz značajke 3G. Pružatelji usluge nude neograničene podatkovne planove i mobilne uređaje koji mogu koristiti hotspot za povezivanje drugih uređaja na mrežu, čime se dodatno povećava potražnja za mobilnim podacima.

Sljedeća je faza bežičnih mreža 5G (peta generacija). Ona omogućuje 10 puta više kapaciteta od ostalih postojećih sustava. Očekivana brzina bit će do 1 Gbps. Potpuno je bežična komunikacija, bez ikakvih ograničenja koja podržava *Wireless World Wide Web* (WWWW). Pouzdaniji je i brži s nižim troškovima. Omogućit će veliki kapacitet, veliku memoriju telefona, brži prijenos podataka, ali i podržat će interaktivnu multimediju. Mreže pete generacije (5G) koriste 5G standarde, koji će koristiti nove perspektivne mrežne tehnologije, poput *Software Defined Networking* (SDN), *Massive MIMO*, *Network Function Virtualization* (NFV), *Informatic-centric networking* (ICN), mreže utemeljene na oblaku i slično. [11]

### 3. RAZLOZI UVOĐENJA 5G

Kao i svaka druga mobilna mreža, 5G mreže sastoji se od ćelija podijeljenih u sektore i slat će podatke putem radio valova. Svaka ćelija povezana je s jezgrenom mrežom žičnom ili bežičnom vezom. 5G može prenijeti podatke preko nelicenciranog frekvencijskog pojasa koji se trenutno koristi za Wi-Fi. Omogućava bržu i učinkovitiju mrežu. 5G bežična tehnologija namijenjena je pružanju značajno većim brzinama prijenosa podataka, ultra niskim kašnjenjem, većom pouzdanošću, masivnim mrežnim kapacitetom, povećanom dostupnošću i ujednačenijim korisničkim iskustvom za veći broj korisnika. Veće performanse i poboljšana učinkovitost osnažuju nova korisnička iskustva i povezuju nove industrije. [10]

5G koristi koncept mreže usmjerene na korisnika World Wide Wireless Web (WWWW) umjesto na operatera kao u 3G ili servisu kao u 4G. 5G uključuje najnovije tehnologije kao što su kognitivni radio, Internet stvari, nanotehnologija i računalstvo u oblaku.

5G tehnologija ima sljedeće napredne značajke:

- arhitektura će biti usmjerena na uređaj, distribuirana, programabilna i temeljena na oblaku
- visoke brzine prijenosa podataka
- jedna do 10 Gbps veza do krajnjih točaka
- jedna milisekunda end-to-end kašnjenje
- mala potrošnja baterije
- bolja povezanost bez obzira na lokaciju
- veći broj pratećih uređaja
- niži troškovi razvoja infrastrukture

Pretpostavlja se da će 5G bežična tehnologija donijeti tri glavne prednosti:

- veća brzina: Pretpostavlja se da će brzine prijenosa podataka s 5G biti oko 10 puta veće s 4G. To znači znatno brži prijenos slika i videozapisa.
- manja kašnjenja: 5G bi trebalo smanjiti kašnjenje (vrijeme između uzroka i posljedice). Ovo će omogućiti, na primjer, gledanje brzih videozapisa iz virtualne stvarnosti bez odlaganja.
- povećana povezanost: 5G tehnologija donijela bi brže i pouzdanije veze za korisnike od 4G / LTE. To znači da će više ljudi i uređaja moći istovremeno komunicirati.

Osim ovih pogodnosti, 5G ima visoku brzinu prijenosa podataka na rubu ćelije i bolje područje pokrivenosti, ali i malu potrošnju baterije. [5]

### 3.1. Komparacija 4G i 5G tehnologije

Peta generacija bežične mreže u fokus stavlja primarno mobilni internet do masovnog IoT-a (Internet of Things). Glavni razvoj u usporedbi s današnjim 4G i 4.5G (LTE napredni) je poboljšanja brzina podataka, novi slučajevi IoT i poboljšane performanse.

<b>4G mreža</b>		<b>5G mreža</b>
10-50 milisekundi	<b>LATENCIJA</b>	1 milisekunda
100 veza/km <sup>2</sup>	<b>GUSTOĆA</b>	1 M veza/km <sup>2</sup>
2 Gbps	<b>PROPUSNOST</b>	20 Gbps
30 Bps/Hz	<b>SPEKTRALNA UČINKOVITOST</b>	30 Bps/Hz
10 Mbps/m <sup>2</sup>	<b>KAPACITET PROMETA</b>	100 Mbps/m <sup>2</sup>
Osnovna linija	<b>ENERGETSKA UČINKOVITOST MREŽE</b>	15% Mbps/m <sup>2</sup>

*Tablica 1 Razlika u brzini, latenciji i širini pojasa između 4G i 5G*

Izvor: [11]

Na slici 2 prikazane su sljedeće razlike između 4G i 5G mreže:

- brži prijenos podataka

Uz brzine do 1 Gbps u sekundi, postavljeno je da 5G omogućava deseterostruko veće brzine od 4G. Ne samo da će to promijeniti način na koji korisnici koriste svoje pametne telefone, nego će uvesti i potpuno novi set uređaja koji iskorištavaju novi frekvencijski spektar.

- manje kašnjenje

Komunikacija između tornjeva i povezanih uređaja uskoro će postati puno ujednačenija. Kašnjenja će se smanjiti na 1/10 u odnosu na tradicionalne 4G mreže otvarajući put autonomnim uređajima poput samovozećih automobila.

- povećana pokrivenost i gustoća mreže

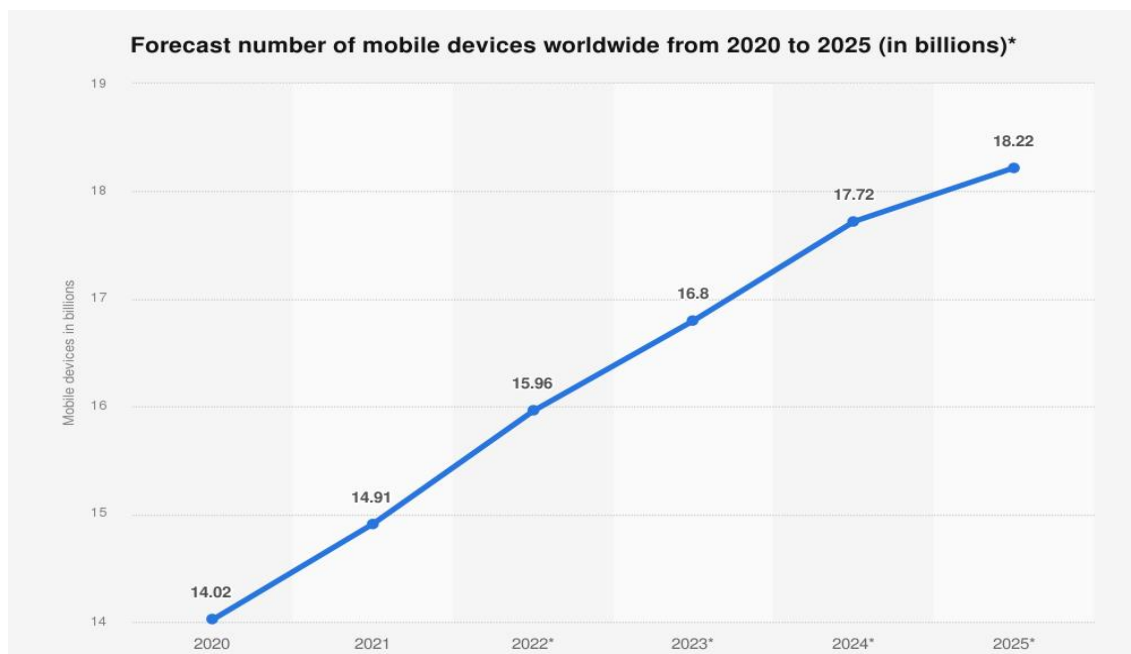
5G male ćelije su kompaktnije, jednostavnije se instaliraju i zahtijevaju manje energije od 4G makroćelija. Moći će povezati do 100 puta više uređaja po kvadratnom kilometru nego kod 4G.

- brže preuzimanja

U rasponu gigabita u sekundi i šire u nedavnom istraživanju, 48% je reklo da najveća korist od 5G da nikad više neće biti korištenje javnih Wi-Fi usluga, a isti broj ukazuje na munjevito pregledavanje.

- više uređaja i vrsta uređaja za osobnu i poslovnu upotrebu

Pod navedeno nisu u pitanju samo brži pametni telefoni ili brža preuzimanja. 5G će obnoviti nekoliko industrija i stvoriti potpuno nove linije inovativne tehnologije. Vozila koja se samostalno voze razvijala su se godinama, a sada, sa širokim prihvaćanjem 5G, pametni automobili u vlasništvu potrošača su na pomolu. Slika 3. Prikazuje predviđanje rasta broja terminalnih uređaja u razdoblju od 2020-2025.



Slika 2 Prognoza porasta broja uređaja od 2020-2025

Izvor: <https://www.statista.com/statistics/245501/multiple-mobile-device-ownership-worldwide/>

- niže kašnjenje mreže s kraja na kraj

5G će gotovo eliminirati vrijeme kašnjenja potrebno za komunikaciju uređaja s mrežom. Igranje igara bit će precizno uz izbjegavanje pogrešaka zbog problema s vezom. U medicinskoj industriji, gdje su uloženi visoki, kritični alati poput automatizirane kirurške opreme koja zahtijeva izuzetno nisku latenciju prelaze s koncepta na primjenu. Za automatiziranu vožnju, odlučivanje u dijelovima sekunde može biti razlika između sigurnog putovanja ili razorne

nesreće. Niska latencija 5G bit će presudna kako bi se osiguralo da vozila mogu ostati reaktivna i zaštititi putnike.

- fleksibilnost s *network slicing* i dijelovima propusnosti (BWP)

Bez obzira hoće li se koristiti 5G za povezivanje uređaja putem Interneta stvari ili samo za brzi streaming videa, *network slicing* omogućuje određivanje više virtualnih mreža na jednoj fizičkoj mrežnoj infrastrukturi te dodjelu kapaciteta mreže ovisno o primjeni

- Masivan IoT s velikom gustoćom pametnih uređaja

Dva su ključna izazova u masivnoj domeni IoT uređaja:

(1) ekonomično povezivanje velikog broja uređaja na širokom području

(2) učinkovito upravljanje tim uređajima tijekom njihovog cjelokupnog životnog ciklusa

Kako su sigurnost i povjerenje ključni zahtjevi u većini masovnih IoT aplikacija, uređaji moraju biti sigurni u smislu komunikacije i cjelovitosti podataka od kraja do kraja (E2E), od uređaja do upotrebe podataka aplikacije.

4G / LTE bežične mreže koriste radio frekvencije od oko 600 MHz - 2,5 GHz te je ovaj opseg spektra već prilično iskorišten. Da bi se postiglo poboljšanje brzine od 10 do 20 puta, 5G koristit će opsege viših frekvencija, poput milimetarskih valova. Ovaj spektar je od 30 do 300 GHz, što rezultira valnim duljinama od 10 do 1 mm. Trenutno je 5G predviđen za upotrebu od 24 GHz - 52 GHz, kao i od 64 GHz - 82 GHz. Te više frekvencije mogu same po sebi nositi više informacija od nižih frekvencija, ali su također podložne mnogo većim smetnjama i prigušenju što utječe na smanjivanje dometa. Kao rezultat, bit će također značajan 5G spektar na ispod 6 GHz (450 MHz - 6 GHz) koji će doprinjeti dobru pokrivenost i prednosti kapaciteta.

Iako se 4G LTE usredotočio na pružanje mnogo bržih mobilnih širokopolasnih usluga od 3G, 5G cilja na pružanje sveobuhvatne povezanosti kako bi se stvorili temelji za brzi i fleksibilni pristup korisnicima Interneta, neovisno gdje se nalaze. [11]

## 4. STANDARDIZACIJA 5G TEHNOLOGIJE

Regulatorna tijela i uprave su organizacije koje predvodi država i postavlja regulatorne zakonske zahtjeve za prodaju, postavljanje i upravljanje mobilnim sustavima i ostalim telekomunikacijskim proizvodima. Jedan od njihovih najvažnijih zadataka je kontrola upotrebe spektra i postavljanje licencnih uvjeta za mobilne operatore kojima se dodjeljuju dozvole korištenja dijelova spektra radiofrekvencije (RF) za mobilne mreže. Drugi zadatak je reguliranje "stavljanja na tržište" proizvoda kroz regulatornu potvrdu, osiguravajući da su uređaji, bazne stanice i ostala oprema homologirana i da udovoljava odgovarajućim propisima.

Dvije organizacije koje su u središtu 5G su *Third Generation Partnership Project (3GPP)* i *International Telecommunication Union (ITU)*. 3GPP je suradnja od sedam telekomunikacijskih SDO-ova (engl. Standards Development Organizations) iz Japana, Kine, Europe, Indije, Koreje i Sjedinjenih Država. Ima više od 370 članova iz vodećih tvrtki iz mnogih zemalja. Članovi uključuju vodeće telekomunikacijske pružatelje usluga (npr. AT&T, China Mobile, SK Telecom), tehnološke tvrtke (npr. Intel, Qualcomm, Samsung, Ericsson, Huawei, ZTE) i vladine agencije.

Specifikacije za NR i LTE razvija 3GPP koji surađuje između sedam regionalnih i nacionalnih organizacija za razvoj standarda iz Azije, Europe i Sjeverne Amerike: ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA i TTC. 3GPP proizvodi tehničke specifikacije koje standardizirana tijela prenose u standarde. Pokrenut je 1998. godine s početnim ciljem razvoja globalno primjenjivih specifikacija za treću generaciju (3G) mobilnih komunikacija. Opseg je od tada proširen pa sada uključuje razvoj i održavanje specifikacija za drugu generaciju (2G) GSM, 3G WCDMA / HSPA, četvrtu generaciju (4G) LTE i razvoj 5G NR / LTE. Međunarodna radio frekvencija (RF) spektrom upravlja ITU-radiokomunikacijski sektor (ITU-R). ITU-R je također odgovoran za pretvaranje tehničkih specifikacija iz na primjer 3GPP-a u globalne standarde, uključujući i zemlje koje nisu obuhvaćene od strane tijela za standardizaciju u 3GPP-u. ITU-R-also definira spektar za takozvane međunarodne sustave mobilne telekomunikacije (IMT). IMT sustavi u praksi odgovaraju različitim generacijama mobilnih komunikacija od 3G pa nadalje. Tehnologije 3G i 4G uključene su u preporuke IMT-2000 i IMT-Advanced. Nova ITU-R preporuka za 5G, nazvana je IMT-2020

ITU-R ne izrađuje detaljne tehničke specifikacije, već definira IMT u suradnji s regionalnim tijelima za standardizaciju navodeći zahtjeve koje bi IMT tehnologija trebala ispuniti. ITU-R daje preporuke tehnologija radijskog sučelja u specifikacijama radijskog sučelja za određeni

sustav IMT i daje reference na odgovarajuće detaljne specifikacije koje vode odgovarajuća tijela za standardizaciju. Specifikacije radio-sučelja IMT-2000 uključuju šest različitih tehnologija radio sučelja, dok IMT-Advanced uključuje dvije. Za razliku od prethodnih generacija, za 5G se ne očekuje da će konkurentske tehnologije biti dodijeljene kao kandidati za IMT-2020 te se predviđaju samo tehnologije temeljene na 3GPP. 3GPP će zajedno predati LTE evoluciju i NR kao sustav kandidata za IMT-2020.

Različite generacije mobilnih komunikacija pojavljivale su se otprilike svakih deset godina. Međutim, pojedini se sustavi neprestano razvijaju s novim značajkama. Specifikacije 3GPP podijeljene su po izdanjima, pri čemu se svako izdanje sastoji od cjelovitog i samostalnog skupa specifikacija. To znači da određeno izdanje sadrži sve komponente potrebne za izgradnju cjelovite ćelijske mreže. Kada je izdanje dovršeno, značajke su zamrznute i spremne za implementaciju. Kada je izdanje zamrznuto, dopuštene su samo bitne korekcije. Daljnje funkcionalnosti morat će ući u sljedeće izdanje. Rad na različitim izdanjima se preklapa, tako da rad na novom izdanju započinje prije završetka trenutnog izdanja. Izdanja bi trebala biti kompatibilna unatrag, tako da korisnička oprema (UE) razvijena za jedno izdanje također može raditi u prethodnom izdanju. Prva verzija LTE-a bila je dio izdanja 8 specifikacija 3GPP. LTE izdanje 10 je imenovano LTE Advanced otkako ga je ITU-R odobrio kao IMT-Advanced technology. U izdanju 13 marketinški naziv za LTE promijenio se u LTE-Advanced Pro.[6]

Posao standardizacije 5G NR započeo je u 3GPP-u u travnju 2016. godine, s ciljem da ga učini komercijalno dostupnim prije 2020. 3GPP zauzima fazni pristup u definiranju specifikacija 5G. Prva faza standardizacije, s ograničenom NR funkcionalnošću, NR izdanje 15, dovršena je za nesamostalni rad (NSA) krajem 2017. i za samostalni rad (SA) sredinom 2018. godine.

S 5G standardizacijom u ubrzavanju, 5G pretkomercijalna ispitivanja također se održavaju u cijelom svijetu. Na osnovu izdanja 15 specifikacija, bazne stanice i uređaji kompatibilni s 3GPP već su u fazi izrade. Tada se komercijalne implementacije očekuju u dvije faze. Prva faza NR komercijalnih implementacija razvila se 2019., a temeljila se na izdanju 15 specifikacija. Očekuje se da će druga faza komercijalnih razmještaja NR započeti u vremenskom okviru 2021. godine, na temelju specifikacija izdanja 16. Vjerojatno je da će se NR specifikacije i dalje razvijati u 3GPP-u i nakon 2020. godine, uz niz izdanja koji uključuju dodatne značajke i funkcionalnosti.[1]



## 5. MREŽNA ARHITEKTURA PETE GENERACIJE

Dizajn arhitekture mreže ima za cilj definiranje mrežnih elemenata (npr. BaseStation [BSs], sklopke, usmjerivači, korisnički uređaji) i njihovu interakciju kako bi se osigurao dosljedan rad sustava. Ovo poglavlje govori o osnovnim razmatranjima i daje pregled trenutnih istraživačkih aktivnosti. Mrežna arhitektura može se razmatrati iz različitih kutova koji su potrebni kako bi se ispunili ciljevi poput integracije tehničkih komponenata u cjelokupni sustav, pravilnog međusobnog rada opreme i učinkovitog dizajniranja fizičkih mreža s gledišta troškova i performansi.

### 5.1. Arhitektura 5G mreže

Bežični komunikacijski sustav 5G bit će konvergirani sustav s više integriranih tehnologija radijskog pristupa. Moći će podržati širok raspon primjena i usluga kako bi sveobuhvatno zadovoljili zahtjeve društva.[3] 3D - MIMO će biti ugrađeni u BS-ove (engl. Base Station) za daljnje poboljšanje brzine podataka i kapaciteta na razini makro-ćelija. Učinkovitost sustava u smislu pokrivenosti, kapaciteta dodatno će se poboljšati pomoću relejnih ćelija, iznimno guste implementacije malih ćelija ili WiFi offloading<sup>1</sup>. D2D (engl. Device to Device) komunikacija potpomognut će makro-BS pružajući upravljačku razinu. [3]

Pametna mreža još je jedna zanimljiva primjena predviđena za 5G koja omogućuje rad električne mreže na pouzdaniji i učinkovitiji način. Računarstvo u oblaku potencijalno se može primijeniti na RAN, a osim toga i na mobilne korisnike koji mogu stvoriti resurse kojima će upravljati mreža.

Tehnologija MmWave revolucionirat će mobilnu industriju ne samo zbog puno dostupnog spektra nego i zbog smanjenja veličine antene, omogućujući izradu niza antena sa stotinama ili tisućama antenskih elemenata, čak i na UE.

Tehnologija mmWave također će pružiti ultraširokopolasne povratne veze za prijenos prometa od/do malih BS-a ili releja ćelije, omogućujući daljnju fleksibilnost primjene za operatere, u usporedbi s ožičenom povratnom vezom.

---

<sup>1</sup> Prebacivanje podatkovne komunikacije iz mobilnih mreža u mreže iz nelicenciranog Wi-Fi spektra

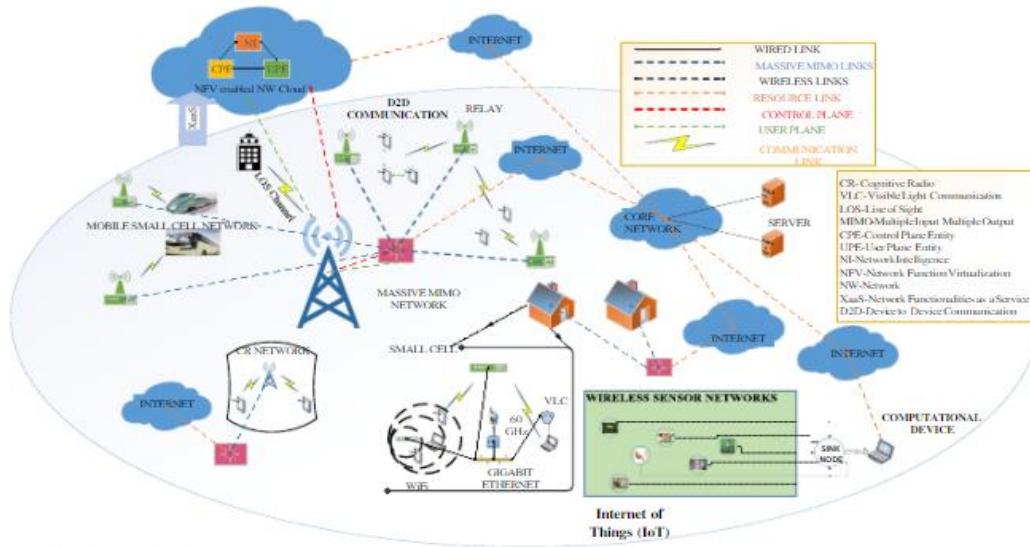
Zbog značajno povećanih zahtjeva mobilnog podatkovnog prometa, npr. 1000 puta povećanja prometa potražnja od 4G do 5G, zgušnjavanje mreže smatra se ključnim mehanizmom u evoluciji mreže te je ultra gusta heterogena mreža obećavajuća je tehnika za ispunjavanje zahtjeva podatkovnog prometa u 5G mrežama. U ultra gustoj heterogenoj mreži se bazna stanica približava korisnicima kroz gusto raspoređivanje malih ćelija, što bi rezultiralo izuzetno visokim spektrom učinkovitost i energetske učinkovitosti

Male ćelije imaju potencijal pružiti masivne kapacitete i minimalizirati fizičku udaljenost između BS-a i UE-a. Primjenjivat će se tradicionalni opsezi ispod 3 GHz za pokrivenost makroćelijama, dok opsezi viših frekvencija (npr. cm- i mmWave opsezi) koristit će se za male stanice kako bi se osigurala spektralna i energetske učinkovita podatkovne razine, potpomognuta kontrolnom razinom koju opslužuje makro-BS.

Zajedno s razvojem novih RAT-ova i postavljanjem ultra gustih malih ćelija, postojeći RAT-ovi nastaviti će se razvijati kako bi osigurali veći SE i EE. Kašnjenje podatkovne razine (vrijeme povratnog putovanja) LTE-A sustava iznosi oko 20 ms, a očekuje se da će se smanjiti na manje od 1 ms u budućem razvoju.

Virtualizacija će također igrati ključnu ulogu u 5G za učinkovito korištenje resursa u ćelijskim sustavima, putem mreže u kojoj mobilni operater neće trebati posjedovati kompletan set namjenske mrežne opreme, nego će se mrežna oprema (npr. BS) dijeliti između različitih operatora. Koncept postojeće mreže u oblaku uglavnom uključuje podatkovne centre. Predviđa se da će 5G UE biti multi-mode inteligentni uređaji što znači da će moći samostalno odabrati pravo sučelje za povezivanje na mrežu na temelju kvalitete kanala, njegove preostale baterije, EE različitih RAN-ova i QoS zahtjeva pokrenute aplikacije. [3]

5G mrežna arhitektura (Slika 4) ilustrira 5G i 4G zajednički rad, sa središnjim i lokalnim poslužiteljima koji korisnicima pružaju brži sadržaj i aplikacije s malim kašnjenjem.



Slika 3 Mrežna arhitektura pete generacije

Izvor: <https://www.slideshare.net/chhattanshah/5g-network-124175568>

## 5.2 Male ćelije

Kako su se mreže razvijale, zahtjevi za podatkovnim prometom eksponencijalno su rasli. Uvođenje malih ćelija se pokazalo atraktivnim rješenjem koji omogućuju operaterima da učinkovitije koristi resurse spektra povećanjem mrežnih kapaciteta. Male ćelije (eng. small cells) su bežične pristupne točke male snage koje djeluju u licenciranom spektru, kojim upravljaju operateri i pružaju poboljšanu pokrivenost i kapacitet. Imaju različite profile pokrivenosti te koriste snagu i povratni signal putem postojećih resursa korisnika, povećavajući vijek trajanja baterije postojećih telefona, bez potrebe za uvođenjem WiFi-ja.

Također su bitna komponenta heterogenih mreža (HetNet), čiji je cilj osigurati veći kapacitet i veću učinkovitost spektra te poboljšati pretplatničko iskustvo dok istovremeno smanjuju troškove prijenosa podataka po bitu.

Potrebna im je minimalna snaga za rad i mogu se postaviti na svakih 250 metara ili tako širom gradova. Prekrivanjem grada malim ćelijama zajedno bi formirale gustu mrežu koja bi primala signale s drugih baznih stanica i slala podatke korisnicima na bilo kojem mjestu te tako spriječila gubitak signala.

Ova radikalno drugačija mrežna struktura trebala bi pružiti ciljanije i učinkovitije korištenje spektra. Zanimljivo je da imati više stanica znači da frekvencije koje jedna stanica koristi za povezivanje s uređajima u jednom području može druga stanica u drugom području ponovno koristiti za opsluživanje drugog kupca. Može se reći da male ćelije donose bolju pokrivenost i efikasnost, kao i poboljšanje performansa mreže.[4] Dat je usporedni prikaz prednosti i mana malih ćelija (Tablica 2)

<b>Prednosti:</b>	<b>Mane:</b>
- mogu isporučiti veću brzinu prijenosa podataka do nekoliko gigabita u sekundi	- ograničenje pokrivenost zbog male snage
- manje složena rješenja mogu se jednostavno implementirati	- broj korisnika ispod jedne ćelije je ograničen zbog resursa
- isplativije	- potreban je veliki proračun za velik broj implementacija
- brže raspoređivanje	
- zahtjevi za lokacijom su minimalni (prikladno je za postavljanje i u zatvorenom i otvorenom prostoru)	

Tablica 2 Prednosti i mane malih ćelija

Izvor: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-Small-Cells.html>

### 5.3 Milimetarski valovi

Zbog sve veće potražnje za višim brzinama prijenosa podataka, bežične komunikacije, koje rade u mmWave frekvenciji, smatraju se jednim od obećavajućih rješenja za ublažavanje trenutnih resursa za buduću komunikaciju u sustavima. Uvođenjem mmWave komunikacijske mreže, uska grla u konvencionalnim mikrovalnim LTE sustavima mogli bi se riješiti većom propusnom širinom. Štoviše, zahvaljujući maloj valnoj duljini, moguće je opremiti više antenskih nizova u ograničenom prostoru na primopredajnicima mmWave. Primjenu mmWave komunikacija, međutim, prati nekoliko tehničkih izazova u 5G ćelijskim mrežama. Točnije, mmWave signali osjetljivi su na blokade ili prepreke poput zgrada ili ljudskih tijela. Rezultati

mjerenja ukazuju na to da u mmWave-u postoje velika prigušenja komunikacijske veze, koje su ograničene na *Line of Sight* (LOS)<sup>2</sup> scenarij. Stvar uz osjetljivost na blokade nije tako jednostavna jer milimetarski valovi donose i poteškoće kao što su izgradnja dodatne infrastrukture, nizak domet, skuplja oprema, ali i osjetljivost na vremenske promjene.

MmWave se kombiniraju s postojećim makro ćelijama kako bi se osigurala uvijek dostupna veza i poboljšani QoS za većinu krajnjih korisnika smještenih u određenom zemljopisnom području. Mmwave komunikacijska ćelija nudi opseg pokrivenosti po narudžbi od 100-200 m.

Milimetarski valovi emitiraju se na frekvencijama između 30 i 300 GHz, u usporedbi s opsezima ispod 6 GHz koji su se u prošlosti koristili za mobilne uređaje. Zovu se milimetarski valovi jer se u duljini razlikuju od 1 do 10 mm, u usporedbi s radio valovima koji opslužuju današnje pametne telefone, koji u duljinu mjere desetke centimetara (Slika 4)



Slika 4 Područje spektra milimetarskih valova

Izvor : <https://www.wv01.net/en/archives/36270>

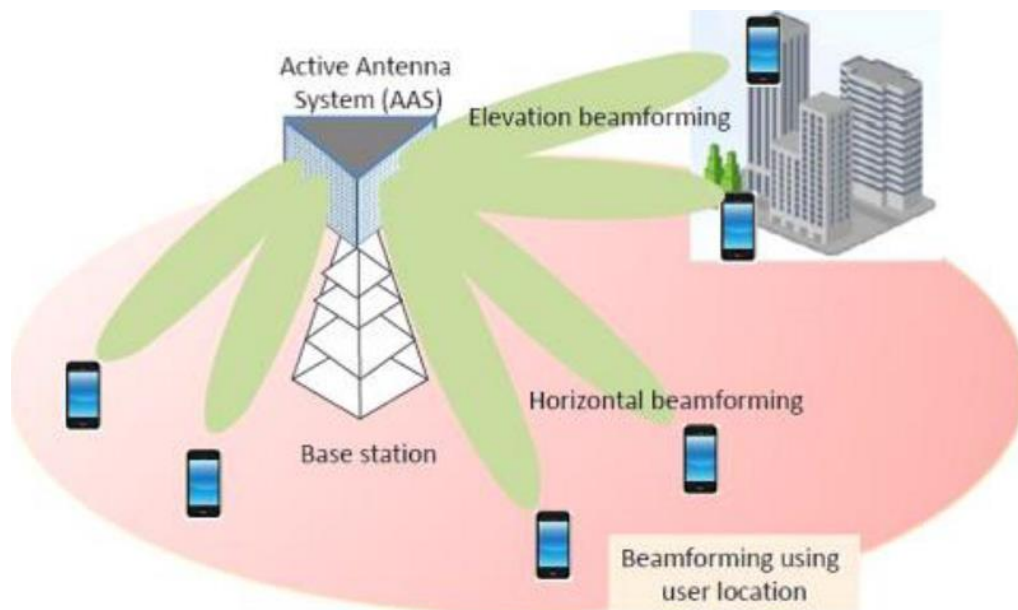
## 5.4 Oblikovanje snopa

Uz Masivni MIMO, potrebno je spomenuti i Beamforming tehnologiju ili oblikovanje snopa usko povezano s masivnim MIMO-m. Beamforming je sustav signalizacije prometa za mobilne stanice koji identificira najučinkovitiji put dostave podataka određenom korisniku te smanjuje smetnje za korisnike u procesu. Ovisno o situaciji i tehnologiji, postoji nekoliko načina na koje ih 5G mreže mogu primijeniti.

<sup>2</sup> vrsta širenja koja može prenositi i primati podatke samo tamo gdje su prijemne stanice u međusobnom pogledu bez ikakvih prepreka između njih

Beamforming može pomoći masivnim MIMO nizovima da učinkovitije koriste spektar oko sebe. Primarni izazov za masivni MIMO je smanjiti smetnje dok istovremeno prenosi više informacija s mnogo više antena. Na masivnim MIMO baznim stanicama algoritmi za obradu signala definiraju najbolji put prijenosa zrakom do svakog korisnika. Tada mogu poslati pojedinačne pakete podataka u mnogo različitih smjerova, odbijajući ih od zgrada i drugih objekata po točno koordiniranom uzorku.

Oblikovanje snopa omogućuje mnogim korisnicima i antenama na masivnom MIMO nizu razmjenu mnogo više informacija odjednom. Za milimetarske valove oblikovanje snopa primarno se koristi za rješavanje različitog skupa problema. Nadalje, signale lako blokiraju objekti i imaju tendenciju slabljenja na velikim udaljenostima. U ovom slučaju oblikovanje snopa može pomoći usmjeriti u signal, koji usmjerava samo u smjeru korisnika, umjesto emitiranja u više smjerova odjednom. Time se povećava učinkovitost i smanjuju se smetnje (neželjeni radio signali).[4]



Slika 5 Odašiljanje signala preko Beamforming-a

Izvor: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>

Antene za oblikovanje snopa dinamički oblikuju smjerove snopa prema lokaciji svojih povezanih korisnika.(Slika 5) Jedinstvene su po svojoj sposobnosti da učinkovito smanje smetnje, poboljšaju omjer signala i smetnji i šuma te pruže znatno bolje iskustvo krajnjeg korisnika.

Valja spomenuti da ovaj pristup može smanjiti mogućnost greške u prijenosu jer su 4G mreži signali putovali u svim smjerovima te su pokrivali veliki prostor rezultirajući većim gubitkom snage.

## 5.5 Full Duplex

U FD komunikacijskoj shemi, FD primopredajnik može istovremeno prenositi i primati na istoj frekvenciji. Općenito se pretpostavlja da bežični čvor (npr. BS, UE, itd.) ne može dekodirati primljeni signal dok istovremeno emitira na istom frekvencijskom opsegu zbog unutarnjih smetnji između odašiljača i krugova prijemnika, koji se nazivaju interferencija (SI). Međutim, s nedavnim napretkom u tehnologijama antena i digitalnog osnovnog pojasa, kao i tehnikama za poništavanje RF smetnji, moguće je izgraditi FD radio uređaje u opsegu.

FD komunikacija ima potencijal udvostručiti spektralnu učinkovitost na fizičkom sloju uklanjanjem zasebnog frekvencijskog pojasa / vremenskog intervala za prijenos uplink-a i downlink-a. Nedavna istraživanja ukazuju na to da su FD sustavi izvedivi i mogu pružiti znatno veće brzine prijenosa podataka od uobičajenih komunikacijskih sustava s poludupleksom (HD). FD tehnologija također može riješiti probleme u postojećim bežičnim mrežama, poput gubitka protoka uslijed zagušenja i velikih kašnjenja s kraja na kraj. Na primjer, FD komunikacijske sheme mogu smanjiti latenciju istodobnim primanjem povratnih signala (tj. informacija o stanju kanala (CSI), ARQ / ACK kontrolne signalizacije, itd.) od prijatelja tijekom prijenosa. Također, omogućuje bežični čvor kao što je BS za obavljanje RF prijenosa energije (npr. Bežično punjenje) dok prima prijenose odlazne veze s UE. [4]

## 5.6 Virtualizacija RAN-a

Virtualizacija uključuje razdvajanje softvera od hardvera, omogućavajući mrežnim operatorima da automatski razvijaju i implementiraju inovativne usluge. Na primjer, s tehnologijama poput virtualizacije mrežnih funkcija (NFV), operatori mogu brzo isporučiti prilagodljive usluge s virtualnim strojevima koji rade na jeftinim čvorovima. To mrežu čini agilnijom, a istovremeno smanjuje potrebu za skupim vlasničkim hardverom.

Slično tomu, virtualni RAN primjenjuje principe NFV virtualizirajući mrežne funkcije, pružajući zauzvrat veći stupanj fleksibilnosti u RAN-u. Virtualni RAN sastoji se od

centraliziranog skupa osnovnih opsežnih jedinica (BBU), virtualiziranih kontrolnih funkcija RAN-a i optimizacije isporuke usluga. Uz virtualni RAN, osnovni opsežni moduli premještaju se od bazne stanice u podatkovni centar. Kao rezultat toga, funkcije BBU-a mogu se implementirati s virtualnim strojevima u centraliziranom podatkovnom centru. To omogućuje inteligentno skaliranje računalnih resursa, istovremeno smanjujući potrošnju energije i kapitalne izdatke (CAPEX).

Očekuje se da će virtualizacija RAN-a pomoći prijevoznicima da se pripreme za 5G mreže, što će dodatno povećati zahtjeve za propusnošću. Na primjer, 5G virtualna bazna stanica može poboljšati kapacitet sustava i spektralnu učinkovitost crtanjem iz skupa BBU-ova koji dijele signalizaciju između stanica. Virtualni RAN također može pomoći pojednostaviti postavljanje novih značajki i algoritama, što optimizira upotrebu resursa i poboljšava iskustvo krajnjeg korisnika.

Štoviše, centralizirana arhitektura 5G virtualne bazne stanice omogućuje jednostavno provođenje plana upravljanja i podjele podatkovne ravnine. Uz to, razdvajanjem mrežnih funkcija od vlasničkog hardvera, virtualni RAN može omogućiti razinu prilagodljivosti u mrežama koja je operaterima potrebna za komercijalizaciju 5G.[2]

## 5.7 Device-to-Device Communications

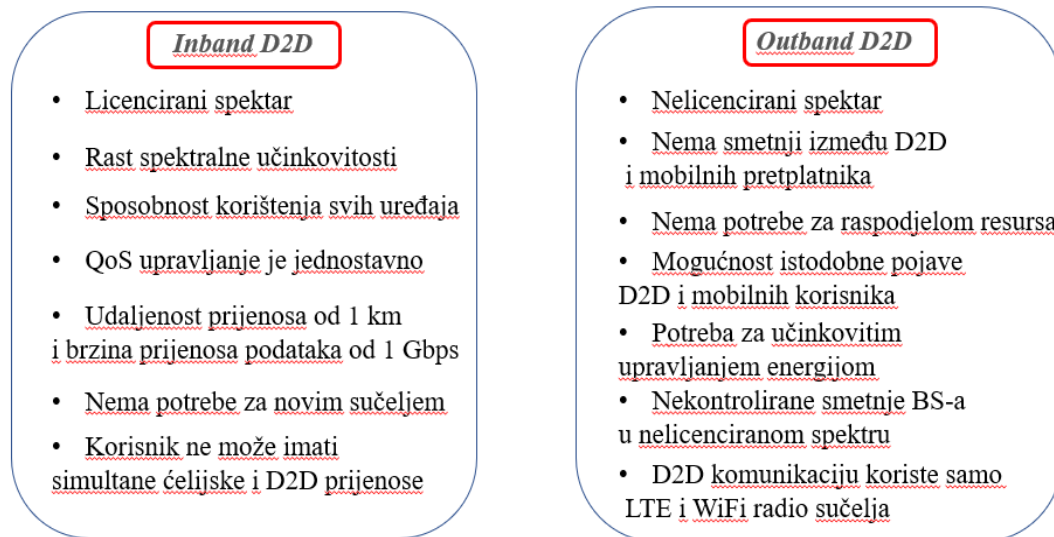
D2D odnosi se na komunikaciju između uređaja, a oni mogu biti, primjerice, mobiteli ili vozila. Ova tehnika otvara novu komunikaciju usmjerenu na uređaj te često ne zahtijeva izravnu komunikaciju s mrežnom infrastrukturom. U D2D komunikaciji, podatkovni promet se uređajem izravno usmjerava i nije nužno potrebno prelaziti kroz RAN ili CN. Očekuje se da će D2D komunikacija poboljšati performanse, povećati energetske učinkovitosti i smanjiti kašnjenja u mobilnoj mreži.

D2D komunikacija kategorizirana je u pojasu i izvan pojasa (Slika 7). U opsegu D2D komunikacije izravna komunikacija među uređajima odvija se u licenciranom spektru dodijeljen operaterima. Pristupni D2D korisnici pristupaju licenciranom spektru u dva načina:

- namjenski način (prekrivajući ili ortogonalni način)
- zajednički način rada (podloženi ili neortogonalni način rada).



U izvanmrežnom D2D načinu komunikacije, izravna komunikacija među uređajima odvija se u usvojenom nelicenciranom spektru s drugim bežičnim tehnologijama kao što su Wi-Fi ili Bluetooth.



Slika 6 Unutarpojasna i izvanpojasna D2D komunikacija

Izvor: <https://www.researchgate.net/publication/322560710>

## 5.8 Machine to Machine (M2M)

Komunikacija *machine to machine* način je razmjene podataka između dva stroja bez ljudske interakcija. Bežična veza znatno je olakšala M2M komunikaciju i omogućila mnogo više povezanih aplikacija. Nadalje, razlika između M2M i IoT je u mrežnom sloju gdje je M2M jedan-prema-jedan komunikacija, dok je IoT komunikacijska mreža više-prema-više. Također, složenost svake od njih je različit na način da M2M ima jedan središnji nadzorni sustav koji prati rad i daje upute za svaki od povezanih uređaja, dok kod IoT-a svaki uređaj može koristiti pravila i upute s bilo kojeg mjesta u mreži.

M2M najvažnije ključne točke su:

- masivan broj uređaja
- automatizirano generiranje i obrada podataka
- relejna stanica
- konvergirana mobilna mreža

- energetski učinkovit

Uočava se da 5G može ponuditi širok raspon značajki za M2M, kao što je novi mm-valni spektar koji se lako može prilagoditi rastu uređaja. [9]

## 5.9 Samoorganizirajuća mreža

5G mreža razvit će se u operacije za rješavanje mrežnih problema automatskom analizom. 5G sustav izvodi sve instalacijske konfiguracije optimiziranjem u stvarnom vremenu radijskog okruženja i mrežnih operacija radi poboljšanja kvalitete korisničke usluge. Štoviše, stabilnost ovog sustava bez prekida usluge osigurava automatski oporavak kvarova uz nadzor u stvarnom vremenu. Drugim riječima, korisnici mogu uživati u svojoj 5G usluzi s potpuno optimiziranom mrežom.

Neke od najbitnijih glavnih značajki SON-a su:

- samokonfiguracija

Samokonfiguracija je funkcija za postavljanje mreže prilikom prvog pokretanja. Plug & Play, ključna tehnologija, funkcija je koja omogućava operaterima sustava da konfiguriraju i rade sa svojim postojećim sustavom automatski kada se bazna stanica u početku uključi. Dodjela IP adrese, konfiguracija sučelja, certificiranje proizvoda i preuzimanje softvera izvršavaju se automatski. Nakon toga dobiva zadane konfiguracijske parametre, a uz to se prikupljaju PCI konfiguracija i informacije o susjednim ćelijama. Stoga može smanjiti ljudsku pogrešku i resurse.[4]

- samooptimizacija

Značajke samooptimizacije su ravnoteža opterećenja mobilnosti (MLB), optimizacija robusnosti mobilnosti (MRO) i optimizacija pokrivenosti i kapaciteta (CCO). Navedene značajke imaju svoje funkcije. MLB je funkcija za provjeru raspodjele opterećenja svake ćelije na temelju njihove upotrebe RB-a i broja korisnika te za pokretanje korisnika ćelije visokog opterećenja da izvrše primopredaju na različitoj frekvenciji kako bi se uravnotežilo opterećenje svake ćelije.

CCO je funkcija za optimizaciju pokrivenosti i kapaciteta promjenom parametara na temelju mjerenja UE. Pokrivenost i kapacitet analiziraju se praćenjem MDT<sup>3</sup> podataka i KPI-a<sup>4</sup>. Ako se utvrde mrežni problemi poput slabe pokrivenosti, nedostatka kapaciteta, automatski se analizira osnovni uzrok. Nakon toga, pokrivenost i kapacitet stanice optimiziraju se promjenom parametara kao što su HO, MLB parametar, parametar susjedne ćelije i parametar snage eNB

- samostalno otklanjanje kvarova

Samostalno otklanjanje kvarova je funkcija za otkrivanje i predviđanje uobičajenih kvarova / kvarova u mrežnoj infrastrukturi 5G (kvarovi hw / sw, ranjivosti infrastrukture / rada ili prekidi u napajanju) za primjenu reaktivnog ili preventivnog oporavka.

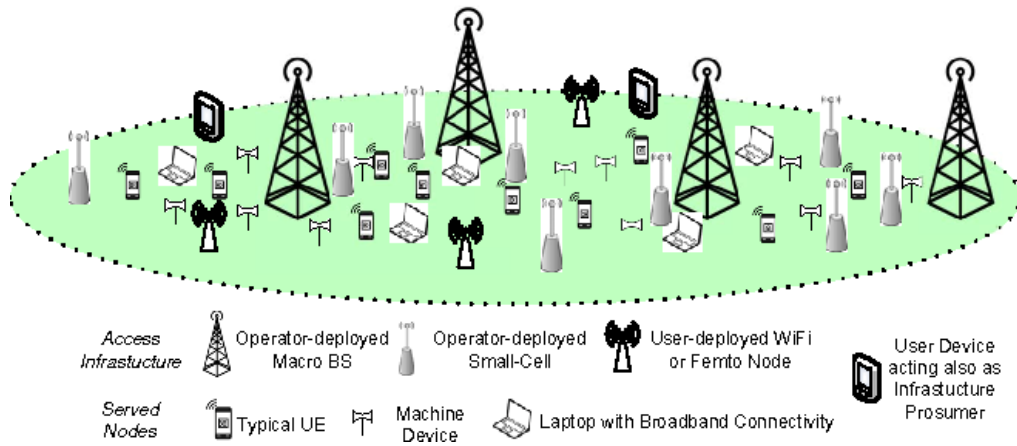
## 5.10 Ultra - gusta mreža

Osnovna ideja ove nove paradigme je skratiti udaljenost između pristupnog čvora i krajnjeg korisnika što je više moguće i tako gusto rasporediti male ćelije u urbanim četvrtima gdje se generira ogroman podatkovni promet. Prosječna udaljenost između mjesta za UDN-ove smanjena je na oko ili manje od 100 m za razliku od udaljenosti od 400 m u tradicionalnom rasporedu 4. generacije (4G). UDN se može definirati kao postavljanje malih ćelija u gustim urbanim mjestima gdje je aktivna korisnička gustoća velika, s oko 600 aktivnih korisnika po km<sup>2</sup>. Zajedno s opsezima viših frekvencija gdje je dostupna veća širina pojasa, očekuje se da će UDN-ovi ispuniti vrlo visoke zahtjeve u pogledu kapaciteta sustava i dostižnih brzina podataka krajnjeg korisnika. Trenutno, ćelijski sustavi uglavnom rade na frekvencijskim opsezima ispod 3 GHz. Međutim, veće frekvencije do milimetarskog vala (mmWave) smatraju se kandidatima za implementaciju 5G. [4]

---

<sup>3</sup> Mobilni podatkovni terminali

<sup>4</sup> Ključni pokazatelji poslovanja



*Slika 7 Ultra dense network scenarij*

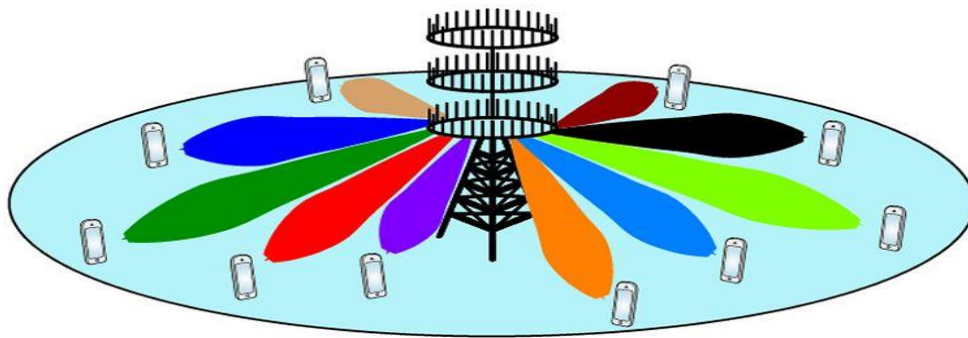
Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/UltraDense-Networks%3A-The-New-Wireless-Frontier-for-Gotsis-Stefanatos/abb3e7a0f19eb1d56ea8f5dd49397058f9beb8b7>

Slika 7. Izuzetno gusta mrežna infrastruktura sastavljena od heterogenih pristupnih čvorova za posluživanje koje su razvili operatori i korisnici, više vrsta čvorova koje opslužuju korisnici i strojevi te uređaji za ometanje koji djeluju kao potrošači.

## 6. MASSIVE MIMO

Današnje 4G bazne stanice imaju desetak priključaka za antene koje obrađuju sav stanični promet, osam za odašiljače i četiri za prijammike. No, 5G bazne stanice mogu podržati stotinjak priključaka, što znači da mnogo više antena može stati u jedan niz. Ta sposobnost znači da bi bazna stanica mogla istovremeno slati i primati signale od mnogo više korisnika, povećavajući kapacitet mobilnih mreža za faktor 22 ili veći. [12]

Ova tehnologija naziva se masivni MIMO. Sve je počelo s MIMO-om, što je kratica za više ulaza s više izlaza, odnosno *multiple input, multiple output*. MIMO opisuje bežične sustave koji koriste dva ili više odašiljača i prijammika za slanje i primanje više podataka odjednom. Masivni MIMO podiže ovaj koncept na novu razinu predstavljajući desetke antena u jednom nizu, koje su ujedno i primatelji i odašiljatelji. (Slika 8)



Slika 8 Masivni MIMO - princip rada

Izvor: <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>

Masivni MIMO ima mnoge prednosti kao što su:

- Spektralna učinkovitost

Massive MIMO može iskoristiti svoj antenski niz da fokusira snopove prema pojedinačnim korisnicima. To mu omogućuje da postigne spektralnu učinkovitost 10 puta bolju od masivnih MIMO sustava koji se koriste za 4Gat.

- Energetska učinkovitost

U masivnom MIMO-u antene se mogu koristiti zajedno za povećanje povećanje dobitka odašiljanih signala. To znači da zrače manjom energijom prilikom prijenosa podataka, što stvara energetski učinkovitiji sustav.

- Praćenje korisnika

Ista stvar koja masivni MIMO čini energetski učinkovitim omogućuje mu precizno praćenje pojedinačnih korisnika. Kako su antenske zrake fokusirane da proizvedu veliki dobitak, njihova širina snopa se smanjuje. Dakle, bazna stanica mora pratiti svakog korisnika uskim snopom signala. Ovo praćenje pružit će korisnicima bolju i pouzdaniju vezu od širokopojsnih signala koji su se do sada koristili.

## **7. 5G USLUGE I SLUČAJEVI UPOTREBE – USE CASE**

Industrije poput zdravstva, proizvodnje i automobila već usvajaju tehnologije i postaju sve povezaniji. Jednom kada 5G postane široko rasprostranjen, ove industrije bi se mogle transformirati iz tri glavna razloga:

8. Uređaji 5G imaju manju latenciju, što omogućuje brži prijenos te većih protoka podataka.
9. 5G uređaji omogućuju pouzdaniju komunikaciju s malim kašnjenjem
10. Krajnji korisnici nisu ograničeni na jednu fizičku lokaciju zbog čega je 5G fleksibilniji od Wi-Fi-ja i može podržati širi spektar uređaja, senzora, i nosive tehnologije.

U nastavku ovog poglavlja može se pronaći obrađenih nekoliko industrija, na čijim ćemo primjerima vidjeti dramatičan utjecaj 5G tehnologije.

### **7.1 Primjeri slučajeva upotrebe**

#### **7.1.1. Automobilska industrija**

Očekuje se da će automobilski sektor biti vrlo važan pokretač za 5G, s mnogo slučajeva korištenja. Na primjer, zabava za putnike zahtijeva istovremeno visoki kapacitet i visoku pokretljivost mobilne širokopojasne mreže jer će budući korisnici očekivati da će imati kvalitetnu vezu neovisno o njihovom položaju i brzini. Ostali slučajevi uporabe za automobilski sektor su nadzorne ploče proširene stvarnosti. One prikazuju preklapanje informacija povrh onoga što vozač vidi kroz prednji prozor, identificirajući predmete u mraku i govoreći vozaču o udaljenostima i kretanjima predmeta.

Osim toga, sami automobili također će biti međusobno povezani. Mnogi proizvođači automobila već dodaju sustave za pomoć vozaču koji se temelje na 3D ugrađene senzori. U budućnosti će bežični moduli omogućiti komunikaciju između vozila, razmjenu informacija između vozila i prateće infrastrukture.

Sigurnosni sustavi također će voditi vozače na alternativne načine djelovanja kako bi im omogućili sigurniju vožnju te kako bi im smanjili rizik od nesreća.

Sljedeća faza bit će daljinski upravljana ili čak samovozna vozila, a za što će biti potrebna izuzetno pouzdana i vrlo brza komunikacija između različitih samovozećih automobila te između automobila i infrastrukture.

Kada su u pitanju autonomna vozila naglasak je na cjelokupnoj bežičnoj konekciji i samim tim na smanjenom ljudskom djelovanju što rezultira povećanje razine razmjene podataka na relaciji

Vozilo bi trebalo biti povezano ne samo s oblakom (za primanje podataka o geolokaciji i ažuriranje karata), već i s ljudima (V2H), drugim vozilima (V2V) i infrastrukturom (V2I) kako bi bili pouzdani sudionici u prometu.

Komunikacija vozilo-čovjek (V2H) temelji se na sučelju čovjek-stroj koje vozaču omogućuje da promatra namjeru umjetne inteligencije vozila prije nego što krene. Na temelju algoritama za obradu jezika i prepoznavanja glasa, V2H komunikacija već pojednostavljuje interakciju s navigacijskim infotainment sustavima<sup>5</sup> i može stvoriti dodatnu vezu između automobila koji sami upravljaju i njihovih vlasnika.

Komunikacija između vozila i infrastrukture (V2I) omogućuje autonomnom vozilu razmjenu podataka sa okolinom, uključujući zgrade, semafore i prometne znakove. Na primjer, pri prebrzoj vožnji automobil bi mogao primiti signal sa semafora o mogućem kršenju crvenog svjetla. Ili bi automobil mogao primiti signal o potencijalnom zelenoj svjetlu daljnjih 30 kilometara ako vozi brzinom od 50 km/h.

Komunicirajući s drugim vozilima (V2V), automobil koji samostalno upravlja može primiti informacije o nadolazećim preprekama, gužvi u prometu i pješacima na cesti prije nego što se nađu ispred vozila ili se pojave na karti.

Uvjeti za autonomne automobile kao što su ultra niska latencija i ultra visoka pouzdanost, povećavaju sigurnost u prometu do nivoa koji ljudi ne mogu postići. Smatra se da će se nova tehnologija C-V2X mogla implementirati u automobile od 2022. godine te da će se usklađivati sa semaforima pronalazeći brže rute izbjegavajući zastoje. To će dovesti do manje prometnih nesreća i pametne potrošnje goriva. Smatra se da će predviđeno smanjenje latencija kod višestruke komunikacije automobila sa 70 milisekundi biti manje od 1.

## 7.1.2 Internet stvari

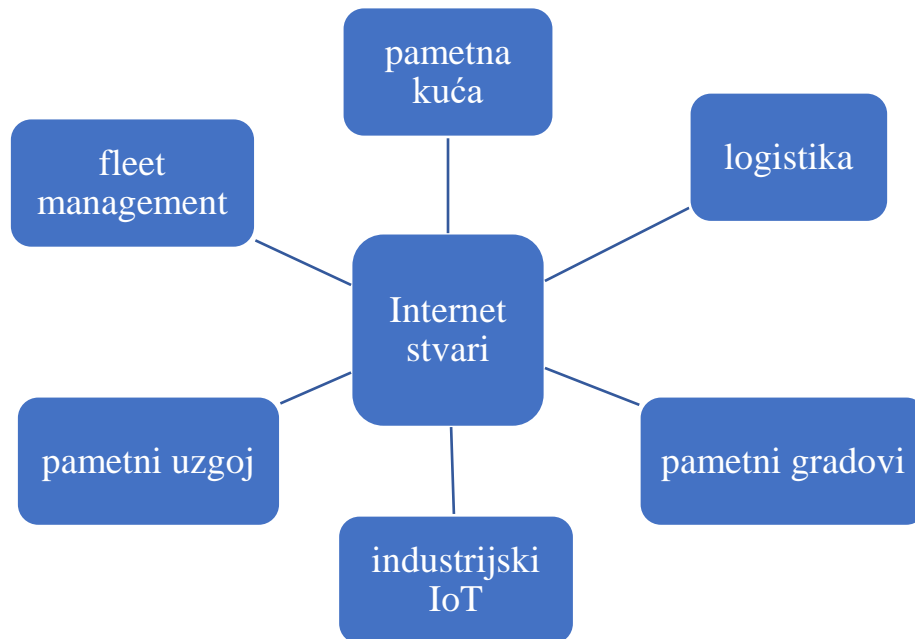
Internet stvari (IoT) je još jedno široko područje za razvoj pomoću 5G bežična mreža. Internet stvari povezat će svaki objekt, uređaj, senzor i aplikaciju na Internetu. IoT aplikacije prikupljat će ogromnu količinu podataka s milijunima uređaja i senzora. Potrebna je učinkovita mreža za prikupljanje, obradu, prijenos, kontrolu i analitiku u stvarnom vremenu, a za to je 5G

---

<sup>5</sup> kombinacija sustava vozila koji se koriste za isporuku zabave i informacija vozaču i putnicima putem audio/video sučelja, upravljačkih elemenata poput zaslona osjetljivog na dodir, ploče s gumbima, glasovnih naredbi



najučinkovitiji kandidat, najprije zbog svoje fleksibilnosti, neiskorištene dostupnosti spektra i jeftinih rješenja za implementaciju. IoT može imati koristi iz 5G mreža u mnogim područjima kao što su:



*Slika 9 Područja primjene IOT-a*

- pametna kuća

Pametni kućanski uređaji i proizvodi danas nadmašuju tržište. Pod pojam pametna kuća podrazumijeva se komunikacijski sustav, u kojem su razni električni uređaji (hladnjaci, robotski usisavači, portafoni, rasvjeta i slično) povezani u jednu cjelinu i mogu se kontrolirati iz središnjeg izvora. Koncept pametne kuće koristit će 5G mreže za povezivanje i nadzor uređaja aplikacija.

5G bežičnu mrežu koristit će pametni uređaji koji se mogu konfigurirati i kojima se pristupa s udaljenih mjesta, a kamere zatvorenog kruga osigurat će visoku kvalitetu videa u stvarnom vremenu u sigurnosne svrhe. 5G mreža donosi ovoj stavci povećanje brzine prijenosa podataka, smanjenje latencije, ali i povećanje energetske učinkovitosti.

- logistika

Može koristiti pametnu 5G tehnologiju za upravljanje robom, centraliziranim upravljanjem bazama podataka, raspoređivanje osoblja i praćenje i izvještavanje o isporuci u stvarnom vremenu.

- pametni gradovi

Pametne aplikacije u gradu kao što je upravljanje prometom, trenutno ažuriranje vremena, lokalno područje emitiranja, upravljanje energijom, pametna elektroenergetska mreža, pametno osvjjetljenje ulica, upravljanje vodnim resursima, gospodarenje, hitno reagiranje i slično mogu koristiti pouzdanu 5G bežičnu mrežu za njegovo funkcioniranje. 5G mreža omogućit će realizaciju pametnog grada, iako su zahtjevi veliki.

- industrijski IoT

Buduće industrije ovisit će o pametnim bežičnim tehnologijama poput 5G i LTE Advanced za učinkovitu automatizaciju opreme, prediktivno održavanje, sigurnost, praćenje procesa, pametno pakiranje, otpremu, logistiku i upravljanje energijom.

Tehnologija pametnih senzora nudi neograničena rješenja za industrijski IoT za pametnije, sigurne, ekonomične i energetske učinkovite industrijske operacije.

- pametni uzgoj

5G tehnologija će se u budućnosti koristiti za poljoprivredu i pametnu poljoprivredu. Korištenje pametnih RFID senzora i GPS tehnologija, poljoprivrednici mogu pratiti lokaciju stoke i njima lako upravljati. Pametni senzori mogu se koristiti za kontrolu navodnjavanja, kontrolu pristupa i upravljanje energijom.

- Fleet management

Mnoge tvrtke koriste pametne uređaje za praćenje za upravljanje voznim parkovima. 5G tehnologija pružit će mnogo bolja rješenja za praćenje lokacije i upravljanje voznim parkom. Vozači će sve više koristiti senzore i mogućnosti za izbjegavanje sudara te će se u slučaju nesreće kontaktirati hitne službe.

### 7.1.3 Zdravstvo

U pokušaju da smanje troškove i poboljšaju cjelokupno zdravstvo, zapadna medicina se preusmjerava prema preventivnoj njezi. 5G nudi ogromne mogućnosti za širenje preventivnih i nadzornih praksi putem nosivih uređaja. Nosivi uređaji su elektronički uređaj dizajniran za pojedinca kako bi aktivno ili pasivno prikupljao podatke relevantne za tu osobu, zdravstveno stanje i / ili wellness ponašanje.

Podaci koje uređaj prikuplja često se prenose na softversku platformu za analizu (pomoću pojedinca ili organizacija) u svrhu praćenja zdravlja i poticanja zdravog ponašanja.

Integracija 5G tehnologije u nosive uređaje omogućuje prijenos podataka u stvarnom vremenu kako bi se poboljšala kvaliteta njege. Korištenjem 5G tehnologije brzina prijenosa podataka je velika i povećava vrijeme odziva koji može pružiti učinkovit zdravstveni sustav. [13]

Veće brzine i veća pouzdanost mreže 5G omogućit će razvoj složenijih uređaja, uključujući i one koji su ugrađeni izravno u ljudsko tijelo radije nego da se nose izvana. Mikroskopske kamere opremljene s 5G moći će osigurati strujanje u stvarnom vremenu u tijelima i izvan tijela pacijenata, postavljajući temelje za udaljenije dijagnoze i druge složenije prakse daljinskog zdravstva. Nove vrste nosivih uređaja koja prati pacijente u njihovom svakodnevnom životu bi takvim pacijentima mogli omogućiti personaliziraniji nadzor i njegu, bez da moraju posjetiti bolnicu.

Nadalje, na području robotske kirurgije 5G ima potencijal da dramatično proširi sposobnost liječnika koji pružaju kritične i specijalizirane usluge skrbi za pacijente širom svijeta. Robotska operacija je danas izvediva, posebno u gustim urbanim područjima koji imaju pristup brzom širokopojasnom internetu, ali liječnici uglavnom moraju biti smješteni u istoj operacijskoj mreži. Omogućujući malu latenciju i bez podrhtavanja komunikacije na velikim udaljenostima, 5G bi mogao omogućiti obavljanje operacija bilo gdje u svijetu.

Zanimljiv je podatak da je u siječnju 2019. godine tim u Kini testirao daljinsku operaciju 5G po prvi put uklanjanjem jetre životinje u provinciji Fujian.[8]

## 7.1.4 Proizvodnja

Proizvodna industrija već je počela prihvaćati umjetnu inteligenciju i IoT tehnologije za povećanje učinkovitosti, poboljšanje prikupljanja podataka i bolju izgradnju prediktivne analitike. Uz 5G proizvođači dobivaju brža i pouzdanija sredstva za prikupljanje i prijenos podatka, kao i širi spektar senzora i uređaja koje mogu integrirati u svoje tvornice i radni tijek. Jedno veliko potencijalno poboljšanje s 5G bit će povećana stvarnost za proizvodnju. Slučajevi za industrijsku upotrebu za 5G (prema AT&T) uključuju[8]:

- stalno nadziranje performansi opreme
- robotsko vizualno prepoznavanje, koje autonomno osigurava osiguranje kvalitete na proizvodima, prediktivna analitika koja će odrediti kada nešto neće uspjeti.

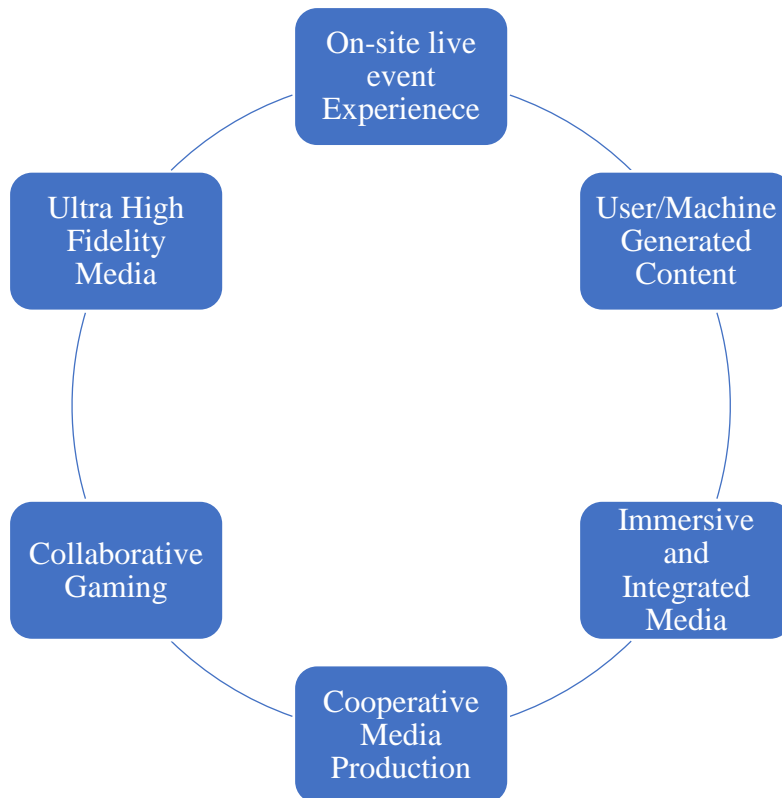
## 7.1.5 Mediji i zabava

Korisničke navike i očekivanja kad su mediji u pitanju kao i potrošnja i proizvodnja se mijenjaju. TV prijemnik, možda podržan lokalnim predmemoriranjem za gledanje u stvarnom vremenu, i dalje će biti vrlo važan element za sveukupno korisničko iskustvo za medije i zabavu (M&E). To se odnosi na vrste usluga (linearni mediji, sadržaj na zahtjev, korisnički i poluprofesionalni sadržaj, igre i slično), uvjeti konzumacije (u pokretu, kod kuće itd.) kao i korisnički uređaji (TV uređaji, pametni telefoni, tableti, nosivi uređaji, satovi i uređaji za virtualnu stvarnost). M&E usluge moraju se suočiti sa sve većom potražnjom u pogledu brzine prijenosa podataka, broja istodobnih korisnika povezanih i / ili stroži QoS zahtjevi. Visoka kvaliteta i audio-vizualne usluge visoke razlučivosti najvažniji su pokretači povećane brzine prijenosa podataka, gdje kao generirani sadržaj korisnika, uključuje dijeljenje društvenih mreža, pokretač je povećanja brzine prijenosa podataka.

5G će besprijekorno integrirati različite mrežne tehnologije – uključujući unicast, multicast i broadcast, ali i mogućnosti (npr. predmemoriranje) koje su potrebne da pokriju sve slučajeve uporabe za M&E. Skalabilnost 5G mreža, s upravljanje prometnim uvjetima koji se brzo mijenjaju, bit će od presudne važnosti za održive poslovne modele za mrežne operatore, kao i za programe, uređaje i usluge pružatelja usluga, a time i za kontinuirane inovacije uređaja i

usluga. 5G također će poticati ekosustav otvaranjem jednostavnih Application Programming Interfaces (API-ji) / alata / okruženja za prilagodbu mrežnih mogućnosti.

5G će omogućiti najmanje šest glavnih skupina slučajeva upotrebe u M&E s ukupnim korisničkim iskustvom koje znatno premašuje iskustvo 4G i ostalih naslijeđenih mreža:



*Slika 10 Šest glavnih skupina upotrebe u M&E*

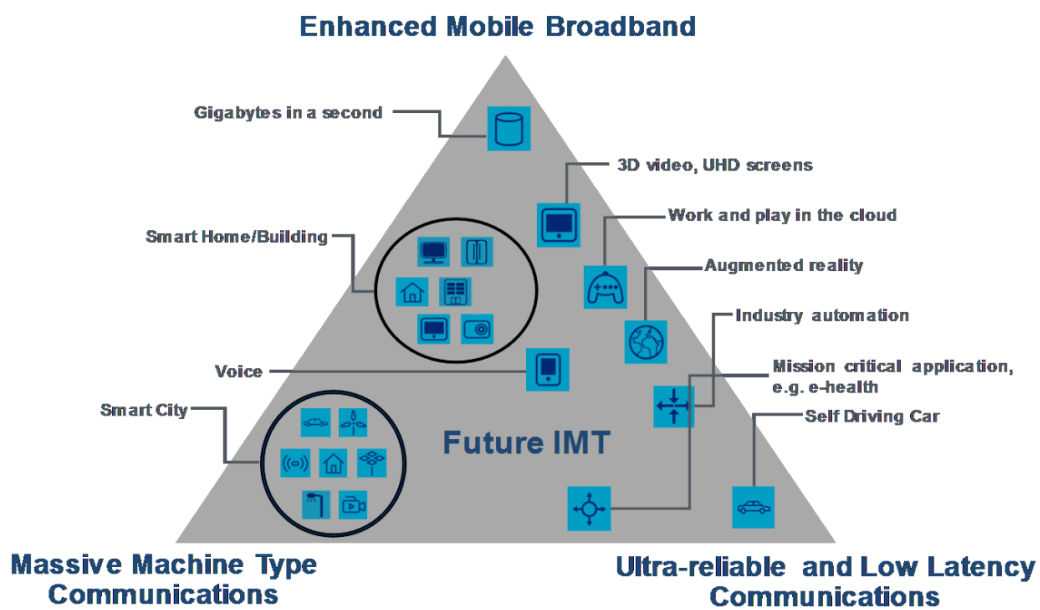
## **7.2 Vrsta 5G mreža za realizaciju slučajeva upotrebe**

Ovaj odjeljak opisuje koncept 5G sustava koji udovoljava zahtjevima opisanim u prethodnim odjeljcima. Da bi to učinio, mora pružiti fleksibilnu platformu. Vertikalne industrije (npr. automobilska, energetska, proizvodna) zahtijevaju fleksibilnost za dobivanje prilagođenih rješenja pomoću zajedničke mreže. Stoga su slučajevi korištenja korišteni kao smjernice u razvoju koncepta 5G sustava, ali koncept sustava nije ograničen samo na identificirane slučajeve uporabe.

5G je zamišljen kao nova paradigma pametnog svijeta koja će omogućiti primjenu snage, uključujući samovozeće automobile, proširenu stvarnost, pametne industrije, pametne domove

i pametne gradove. Slučajevi upotrebe 5G mreža mogu se uglavnom podijeliti u tri vrste, kao što je prikazano na slici 9 [8]:

- poboljšane širokopojasne mobilne mreže (eMBB)
- ultra pouzdane komunikacije s malim kašnjenjem (URLLC)
- masivne komunikacije tipa stroja (mMTC)



Slika 11 5G slučajevi korištenja

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mobile-broadband>

Mobilna širokopojasna mreža koristi slučajeve koji se odnose na ljudski pristup podacima, uslugama i multimedijским sadržajima. S vremenom je povećana potražnja korisnika za mobilnim širokopojasnim mrežama imala tendenciju uvođenja poboljšane mobilne širokopojasne mreže (eMBB) koja ima naprednije aplikacije od mobilne širokopojasne mreže. Nadalje, eMBB će omogućiti aplikacije (poput žarišne točke i scenarij pokrivenosti širokog područja) s većim kapacitetom, poboljšanom povezanošću i većom mobilnošću korisnika. Osim MBB, mMTC karakterizira golem broj uređaja koji prenose podatke s malom glasnoćom i manjom osjetljivošću na kašnjenje. Uz mMTC-a, URLLC ima stroge zahtjeve veće propusnosti i male kašnjenja. Primjeri URLLC aplikacija uključuju udaljenu medicinsku kirurgiju i samovozeće automobile. [8]

### 7.2.1 eMBB

Ova kategorija slučajeva prirodno je proširenje klasičnog scenarija mobilne širokopojasne povezanosti prema trenutnim standardima mobilne telekomunikacije. Pozornost joj je na povezanosti usmjerenoj na čovjeka, uključujući pristup multimedijским sadržajima, uslugama i podacima. To se postiže pružanjem visokih brzina podataka potrebnih za podršku budućim multimedijским uslugama i sve većim prometnim količinama koje generiraju ove usluge. Slučaj upotrebe eMBB obuhvaća niz scenarija uključujući:

- Povezivost *hotspota*, koju karakterizira velika korisnička gustoća i izuzetno visoka brzina prijenosa podataka te mala mobilnost.
- Pokrivenost širokog područja, gdje su gustoća korisnika i brzina prijenosa podataka niži, ali mobilnost je veća.

Dakle, eMBB omogućava veću propusnost i brzinu prijenosa podataka, čime se upotrebljava više frekvencijskih pojaseva. Glavni problem je trenutno što se javljaju malo potrebe za 1 Gbit/s brzinom prijenosa podataka.

### 7.2.2 uRLLC

Strogi zahtjevi kašnjenja i pouzdanosti karakteristične su značajke ove kategorije slučaja korištenja, koja cilja uglavnom na komunikacije strojnog tipa (MTC). Predviđene aplikacije uključuju bežičnu kontrolu industrijske proizvodnje i proizvodnih procesa, daljinsku medicinsku kirurgiju, vozila bez vozača i / ili vozila na daljinsko upravljanje te automatizaciju distribucije u pametnim mrežama. Dakle, uRLLC se odnosi na zahtjeve niske latencije, ali visoke pouzdanosti kod komunikacija, koje zahtijevaju neprekinutu razmjenu podataka. Takvi su na primjer operativni zahvati na daljinu. URLLC je jedan od najvećih izazova mrežnih operatera jer kašnjenje manje od 1 ms traži izgradnju nove infrastrukture i arhitekture jezgre mreže.

### 7.2.3 mMTC

Rast Interneta stvari (IoT) uzrokuje širenje bežično povezanih uređaja koji prenose MTC promet. Zapravo se očekuje da će broj takvih uređaja uskoro premašiti broj uređaja koji nose promet generiran od strane čovjeka. Fokus mMTC-a je na povezivanju ogromnog broja uređaja za koje se pretpostavlja da sporadično prenose malu količinu prometa. Očekuje se da će mMTC uređaji imati vrlo dug životni vijek baterije kako bi se omogućilo daljinsko postavljanje. Jedinstvena značajka ovog slučaja upotrebe jest da će MTC uređaji biti izuzetno heterogeni u pogledu mogućnosti, cijene, potrošnje energije i prijenosne snage.



## 8. Zaključak

U ovom je radu provedena analiza o zahtjevima za performansama 5G bežičnih komunikacijskih sustava koji su definirani u smislu kapaciteta, brzine prijenosa podataka, spektralne učinkovitosti, latencije, energetske učinkovitosti i fleksibilnosti. Spomenute su određene komunikacijske tehnologije kratkog dometa kao što su male ćelije, milimetarski valovi, koji pružaju obećavajuću budućnost u smislu bolje kvalitete i povećane brzine prijenosa podataka za unutarnje korisnike te u ekvivalentnom vremenu smanjuju pritisak na vanjsku baznu stanicu.

Također se raspravljalo o nekim ključnim tehnologijama u nastajanju koje se mogu koristiti u 5G bežičnim sustavima ispunjavajući želje za izvedbom, poput masivne MIMO tehnologije, Beamforming-a, Device to Device komunikacije, ultra gustih mreža, full duplex-a, virtualizacije radio pristupnih mreža. Također su spomenuti slučajevi korištenja, usluga i aplikacija koje omogućuje 5G tehnologija te pruža zahtjeve i pokazatelje uspješnosti za provedbu tih slučajeva korištenja kako bi se udovoljilo potrebama potpuno povezanog i mobilnog društva. Obrađen je utjecaj standardizacijskih tijela na različitim razinama vlasti.

Na kraju se zaključuje da se 5G mreža nastavlja razvijati te će donijeti poboljšanja u povezivosti i znatno poboljšanu operativnu podršku koja uistinu može integrirati Internet stvari i tehnologije pametnih sustava. Industrije prepoznaju da usvajanje pametnih povezanih sustava koji koriste 5G tehnologiju bit će nužna za udovoljavanje rastućim zahtjevima konkurentnih tržišta.

## LITERATURA

- [1] Chtistofer Larsson, 2018. *5G network: Planning, Design and Optimization*, Elsevier Ltd: London, Dostupno: <https://dokumen.pub/5g-networks-planning-design-and-optimization-0128127074-9780128127070.html>
- [2] Stefan Rommer, Peter Hedman, Magnus Olsson, Lars Frid, Shabman Sultana, Cathrine Mulligan, 2020. *5G Core Networks: Powering Digitalization*, Elsevier Ltd: London, Dostupno: <https://pubhtml5.com/aiawk/qquj/basic/451-498>
- [3] Quoc Ngo H, 2015. *Massive MIMO: Fundamentals and System Designs*, LiU Tryck: Linköping  
Dostupno: [https://liu.se/elliit/artiklar3/1.681525/MassiveMIMO\\_Fundamentals\\_andSystemDesigns.pdf](https://liu.se/elliit/artiklar3/1.681525/MassiveMIMO_Fundamentals_andSystemDesigns.pdf)
- [4] Ajit Singh, 2019. *5G Technology*, Ajit Singh, Dostupno: [https://books.google.hr/books?id=KurzDwAAQBAJ&pg=PT14&dq=Ajit+Singh,+2019.+5G+Technology,+Ajit+Singh&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKewjg1lyF1\\_HxAhVnhP0HHVoeBs4Q6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=Ajit%20Singh%2C%202019.%205G%20Technology%2C%20Ajit%20Singh&f=false](https://books.google.hr/books?id=KurzDwAAQBAJ&pg=PT14&dq=Ajit+Singh,+2019.+5G+Technology,+Ajit+Singh&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKewjg1lyF1_HxAhVnhP0HHVoeBs4Q6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=Ajit%20Singh%2C%202019.%205G%20Technology%2C%20Ajit%20Singh&f=false)
- [5] Abhishek Gupta, 2013. *5G :- The Future Mobile Wireless Technology by 2020*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Dostupno: <https://www.ijert.org/research/5g-the-future-mobile-wireless-technology-by-2020-IJERTV2IS90558.pdf>
- [6] Mansoor Shafi, Life Fellow, IEEE, Andreas F. Molisch, Fellow, IEEE, Peter J. Smith, Fellow, IEEE, Thomas Haustein, Member, IEEE, Peiyang Zhu, Senior Member, IEEE, Prasan De Silva, Member, IEEE, Fredrik Tufvesson, Fellow, IEEE, Anass Benjebbour, Senior Member, IEEE, Gerhard Wunder, Senior Member, IEEE, 2017. *5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice*, Dostupno : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7894280>
- [7] Afif Osseiran, Ericsson, Jose F. Monserrat, Universitat Politècnica de València, Patrick Marsch, Nokia, 2016. *5G Mobile and Wireless Communications Technology*, Cambridge University Press, Dostupno: [https://www.researchgate.net/publication/305882445\\_5G\\_Mobile\\_and\\_Wireless\\_Communications\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/305882445_5G_Mobile_and_Wireless_Communications_Technology)
- [8] 5G Americas Whitepaper, 2017. *5G Services and Use Cases*, Dostupno: <https://www.5gamericas.org/5g-services-use-cases/>

- [9] Akhil Gupta, Rakesh Kumar Jha, 2015. *A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies*, *IEEE Access*, Dostupno: [https://www.researchgate.net/publication/280873356\\_A\\_Survey\\_of\\_5G\\_Network\\_Architecture\\_and\\_Emerging\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/280873356_A_Survey_of_5G_Network_Architecture_and_Emerging_Technologies)
- [10] 5G Forum, 2016. *5G Vision, Requirements, and Enabling Technologies*, Republic of Korea, Dostupno: <https://www.hindawi.com/journals/cje/2016/5974586/>
- [11] Desti Mina Rahayu , Kuncoro Triandono Mukti , Muhammad Faris Ruriawan, 2019. *Cellular Network Generation: A Survey*, Indonesia, Dostupno : <https://www.scribd.com/document/404978473/Comparison-of-Cellular-Network-Technology>
- [12] IEEE SPECTRUM, 12 May 2016, Dostupno: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/wireless/5g-researchers-achieve-new-spectrum-efficiency-record>
- [13] Abdul Ahad , Mohammad Tahir 1, Muhammad Aman Sheikh, Kazi Istiaque Ahmed, Amna Mughees and Abdullah Numani, 16 May 2020, *Technologies Trend towards 5G Network for Smart Health-Care Using IoT: A Review*, Dostupno: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32708139/>

## **POPIS SLIKA:**

<b>Slika 1 Evolucija generacija .....</b>	<b>8</b>
<b>Slika 2 Prognoza porasta broja uređaja od 2020-2025 .....</b>	<b>12</b>
<b>Slika 3-Mrežna arhitektura pete generacije.....</b>	<b>18</b>
<b>Slika 4 Područje spektra milimetarskih valova .....</b>	<b>20</b>
<b>Slika 5 Odašiljanje signala preko Beamforming-a.....</b>	<b>21</b>
<b>Slika 6 Unutarpojasna i izvanpojasna D2D komunikacija .....</b>	<b>24</b>
<b>Slika 7 Ultra dense network scenarij .....</b>	<b>27</b>
<b>Slika 8 Princip rada masivno MIMO-a.....</b>	<b>28</b>
<b>Slika 9 Područja primjene IOT-a .....</b>	<b>32</b>
<b>Slika 10 Šest glavnih skupina upotrebe u M&amp;E.....</b>	<b>36</b>
<b>Slika 11 5G slučajevi korištenja .....</b>	<b>37</b>

## **POPIS TABLICA:**

Tablica 1: Razlika u brzini, latenciji i širini pojasa između 4G i 5G.....	6
Tablica 2: Prednosti i mane malih ćelija.....	14

## **POPIS KRATICA:**

BBU (engl. Baseband Unit)

CDMA (engl. Code Division Multiple Access)

D2D (engl. Device to Device)

eMBB (engl. enhanced Mobile Broadband)

EU (engl. User Equipment)

FD (engl. Full Duplex)

FDMA (engl. Frequency Division Multiple Access)

HetNet (engl. Heterogeneous Network)

ICN (engl. Informatic-centric networking)

IoT (engl. Internet of Things)

ITU (engl. International Telecommunication Union)

LOS (engl. Line of Sight)

LTE (engl. Long Term Evolution)

LTE (engl. Code Division Multiple Access)

mMTC (engl. massive Machine Type Communications)

M2M (engl. Machine to Machine)

NFV (engl. Network function virtualization)

PCI (engl. Peripheral Component Interconnect)

RAN (engl. Radio Access Network)

RAT (engl. Radio Access Technology)

RRU (engl. Remote Radio Units)

SDN (engl. Software Defined Networking)

3 GPP (engl. Third – Generation Partnership Project)

UDN ( engl. Ultra-dense Network)

URLLC ( engl. Ultra Reliable Low Latency Communications)

WWW (engl Wireless World Wide Web)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom Analiza razvoja 5G tehnologije

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 7/19/2021

Studentica:

(potpis)