

# MJERENJE 5G SUSTAVA

---

**Bogdanović, Franka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:590995>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**MJERENJE 5G SUSTAVA**

**Završni rad**

**Franka Bogdanović**

**Osijek, 2021.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 28.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

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

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Franka Bogdanović
<b>Studij, smjer:</b>	Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4491, 23.07.2018.
<b>OIB studenta:</b>	11855064429
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Vanja Mandrić Radivojević
<b>Sumentor:</b>	Dr. sc. Dina Jukić
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Mjerenje 5G sustava
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Dobar (3)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 1 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 1 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	28.09.2021.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 30.09.2021.

**Ime i prezime studenta:**

Franka Bogdanović

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4491, 23.07.2018.

**Turnitin podudaranje [%]:**

25%

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

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Vanja Mandrić Radivojević

i sumentora Dr. sc. Dina Jukić

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

Potpis studenta:

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
2. GENERACIJE POKRETNIH MREŽA .....	2
2.1. Prva generacija pokretnih mreža – 1G .....	2
2.2. Druga generacija pokretnih mreža – 2G.....	3
2.3. Treća generacija pokretnih mreža – 3G.....	5
2.4. Četvrta generacija pokretnih mreža – 4G .....	6
3. PETA GENERACIJA POKRETNIH MREŽA – 5G.....	8
3.1. Glavne razlike između 5G i prethodnih tehnologija.....	10
3.2. Arhitektura 5G sustava .....	10
3.2.1. 5G Novi Radio ( <i>eng. 5G New Radio (5G-NR)</i> ) .....	13
3.2.2. Mreža za pristup radiju ( <i>eng. Radio Access Network – RAN</i> ).....	13
3.2.3. Mobilna jezgra ( <i>eng. Mobile Core</i> ).....	14
3.2.4. Masivni MIMO ( <i>eng. Massive MIMO</i> ) .....	14
4. NORMA EU HR 62232 .....	16
5. MJERENJE 5G SUSTAVA .....	18
5.1. Specifičnosti mjerenja jakosti signala u 5G mrežama.....	19
5.2. Provedena mjerenja .....	20
5.3.1. Postupak procjene 5G NR signala ispod 6GHz .....	20
5.3.2. Mjerenje HAKOM-a u Gradu Osijeku.....	23
6. 5G U SVIJETU I HRVATSKOJ.....	24
6.1. 5G u Hrvatskoj.....	27
7. ZAKLJUČAK .....	28
LITERATURA.....	29
SAŽETAK.....	34

## **1. UVOD**

Ljudi su oduvijek pokušavali slati informacije na daljinu, bilo to preko dimnih signala, pisama pa sve do izuma telegrafa i daljnjih tehnologija. Sve je počelo 1860-ih kad je James Clark Maxwell otkrio elektromagnetske valove koji se gibaju brzinom svjetlosti. Nedugo zatim, Heinrich Hertz pronašao je način da proizvede i dokaže elektromagnetske valove, koje kasnije naziva "Radio valovi". Nakon otkrića radio valova, znanstvenici ih počinju koristiti kao nosioce informacije. Sve ove tehnologije vode do današnje najnovije, 5G tehnologije. 5G je peta generacija bežičnih mreža koja omogućuje još bolju povezanost, mobilnost, sigurnost i pouzdanost.

Drugo poglavlje završnog rada prikazuje razvoj pokretnih mreža, od prve generacije do četvrte. U trećem poglavlju biti će objašnjena 5G mreža, razlike između 5G i prijašnjih generacija pokretnih mreža te arhitektura 5G mreže. Četvrto poglavlje će se fokusirati na EN HR 62232. Peto poglavlje sastojati će se od mjerenja 5G sustava, objasniti će zašto je mjerenje jakosti signala specifično za 5G sustave. U šestom poglavlju opisano je trenutno stanje 5G u svijetu i Hrvatskoj. Završna cjelina daje pregled napisanog u radu.

### **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak završnog rada je proučiti HR EN 62232, te najnovija istraživanja o 5G sustavu.

## 2. GENERACIJE POKRETNIH MREŽA

U ovom poglavlju biti će opisane glavne značajke svake generacije pokretnih mreža. Svaka od generacija dovodi poboljšanja u brzinama prijenosa podataka, spektralnoj širini i veličini podataka koji se mogu prenositi. Kako se tehnologija dalje razvijala tako se povećava i broj korisnika.

Oznaka gen.- Naziv	Pristupna radijska mreža	Brzina prijenosa podataka	Spektralna širina
1G-analogna	FDMA	-	(10-30) kHz
2G-GSM	TDMA-FDMA	9,6 kbit/s	200 kHz
2,5G-GPRS	TDMA-FDMA	171,2 kbit/s	200 kHz
EDGE-2,75G	TDMA-FDMA	<=470 kbit/s	200 kHz
3G-UMTS	W-CDMA	(144 -384-2048) kbit/s	5 MHz
3,5G-HSDPA-HSPA	W-CDMA	(14,4 -42) Mbit/s	5 MHz
3,75G-HSOPA	OFDMA	200 Mbit/s (DL) - 100 Mbit/s (UL) (MIMO)	(1,25 - 20) MHz
3,9G-LTE	OFDMA	326 Mb/s (DL-4x4MIMO)	20 MHz
4G-LTE napredni	OFDMA (DL)/SC-FDMA (UL)	1 Gbit/s (DL) - 500 Mbit/s (UL).	70 MHz (DL) - 40 MHz (UL)

Tablica 2.1. Razvoj mobilnih komunikacija od 1. do 4. generacije [1]

### 2.1. Prva generacija pokretnih mreža – 1G

Prva generacija pokretnih mreža pojavljuje se 80.-ih godina prošlog stoljeća te, za razliku od ostalih generacija, koristi analogno tehnologiju. 1G mreža upotrebljava FDMA (*eng. Frequency Division Multiple Access*) za prenošenje signala. FDMA radi na način da svaki komunikacijski kanal ima dodijeljenu posebnu frekvenciju. Dio frekvencijskih pojaseva namjenjen je za

komunikaciju od terminala prema mreži (*eng. uplink*) i komunikaciju prema terminalu (*eng. downlink*) [2].

Prva generacija koristila je standarde koji su se razlikovali za svaku državu. Najznačajniji standardi bili su AMPS (*eng. Advanced Mobile Phone System*) koji je bio korišten u Rusiji, Kanadi i SAD-u te NMT (*eng. Nordic Mobile Telephone*) koji se koristio u Danskoj, Islandu, Švedskoj, Norveškoj i Finskoj. Italija je koristila RTMI, TACS (*eng. Total Access Communication System*) je korišten u Ujedinjenom Kraljevstvu, Radiocom 2000 korišten je u Francuskoj. C-450 korišten je u Zapadnoj Njemačkoj, Južnoj Africi i Portugalu [3].

1G je bila puna mana; podržavala je samo govorne pozive (slanje poruka i podataka nije bilo omogućeno), kvaliteta zvuka bila je loša, bili su česti prekidi te je brzina bila samo do 2.4 kbit/s. Kako su postojali različiti standardi tako je dolazilo do nekompatibilnost između sustava različitih država. Sve ove mane dovode do razvoja iduće tehnologije.



Slika 2.1. Mobilni uređaj 1. generacije [4]

## 2.2. Druga generacija pokretnih mreža – 2G

Druga generacija pokretnih mreža javlja se početkom 1990.-ih godina. Iz 2G-GSM razvile su se 2.5G-GPRS i EDGE-2.75G koje olakšavaju prelazak na 3G.

Standardi 2G generacije koriste FDMA i TDMA (*eng. Time Division Multiple Access*) pristupnu radijsku mrežu čija je širina spektra 200 kHz [1]. TDMA tehnika omogućuje uslugu golemom



broju korisnika istodobno. Frekvencijsko područje podijeljeno je na kanale, a kanali su podijeljeni na velik broj intervala gdje je svim korisnicima dan po jedan vremenski interval.

2G uvodi nove načine komuniciranja. Standardizacijom GSM mreže pružaju se usluge SMS poruka (eng. *Short Message Service*) i mogućnost prenošenja podataka maksimalnom brzinom 9,6 kbit/s, a poslije raste na 14,4 kbit/s zbog drugačijeg kodiranja ali bez mijenjanja modulacijskog postupka koji bi tražio izmjene u radijskom dijelu opreme [2]. Mobiteli ove generacije su, u odnosu na prvu generaciju, manji, jeftiniji, lakši i duljeg trajanja baterije. Dulje trajanje baterije omogućeno je korištenjem digitalnih signala koji trebaju manju potrošnju energije [5].



Slika 2.2. Mobilni uređaj 2. generacije [4]

GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) definira 2.5G generaciju koja je drugačija od GSM konfiguracije jer ima nove mrežne elemente: SGSN (eng. *Serving GPRS Support Node*) i GGSN (eng. *Gateway GPRS Support Node*). SGSN vrši sigurnosne funkcije, kontrolu i upravljanje kretanja mobilnih korisnika u pristupnoj mreži [1].

Brzine prijenosa se poboljšavaju razvojem EDGE-2.75G (eng. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*). EDGE-2.75G omogućuje u 2G frekvencijskom području korištenje IP (eng. *Internet Protocol*) multimedijских servisa i aplikacija s prijenosom podataka brzinama u iznosu od 470 kbit/s pri idealnim uvjetima [1].

Glavne stvari koje razlikuju 1G i 2G sustave je postojanje kanala za prijenos podataka digitalnim putem, podaci korisnika se kodiraju što omogućuje detekciju i ispravljanje greški koje su nastale

tijekom prijenosa. Digitalni načina prijenosa podataka treba manji S/N omjer za jednaku kvalitetu signala [6].

### 2.3. Treća generacija pokretnih mreža – 3G

2000. godine dolazi treća generacija pokretnih mreža. 3G ima veće brzine prijenosa podataka i bolju kvalitetu što omogućuje korištenje mobilnih telefona za videopozive i pristupanje mobilnom internetu. Elektronička pošta isto postaje jedan od načina komuniciranja pomoću mobilnih uređaja [7].



Slika 2.3. Mobilni uređaj 3. generacije [4]

Treća generacija upotrebljava W-CDMA (*eng. Wideband - Code Division Multiple Access*) sklopovlje čiji je rad u frekvencijskom spektru od 5 MHz i koristi komutaciju paketa za razliku od prijašnjih generacija koje koriste komutaciju kanala. CDMA radi na način da dodjeljuje drugačiji kod tj. jedinstvene oznake svakom korisniku. 3.75G-HSOPA i 3.9G-LTE upotrebljavaju OFDMA (*eng. Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*) radijsku mrežu [3]. Kao i 2G, i ova generacija je podijeljena na više standarda: 3G-UMTS, 3.5G-HSDPA-HSPA, 3.75G-HSOPA i 3.9G-LTE.

3.5G ubrzo nastaje kao nadopuna HSPA-u (*eng. High Speed Packet Access*), a izvedena je na način da su se spojile funkcije dvaju protokola; HSDPA (*eng. High Speed Downlink Packet*

Access) i HUSPA (eng. *High Speed Uplink Packet Access*). 3.5G omogućuje brzine od 14,4Mbit/s za silazno te 5,75Mbit/s uzlazno što povećava performanse postojećih 3G pokretnih sustava [2].

Nakon 3.5G-HSDPA-HSPA dolazi 3.75G-HSOPA (eng. *High Speed OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Packet Access*) koja upotrebljava frekvencijski spektar između 1,25 MHz i 20 MHz postižući maksimalne brzine prijenosa od 200 Mbit/s za downlink i 100 Mbit/s za uplink. Zadnje nastaje 3.9G-LTE (eng. *Long Term Evolution*) standard čija je spektralna širina od 20 MHz i isto koristi OFDMA radijsku mrežu [1].

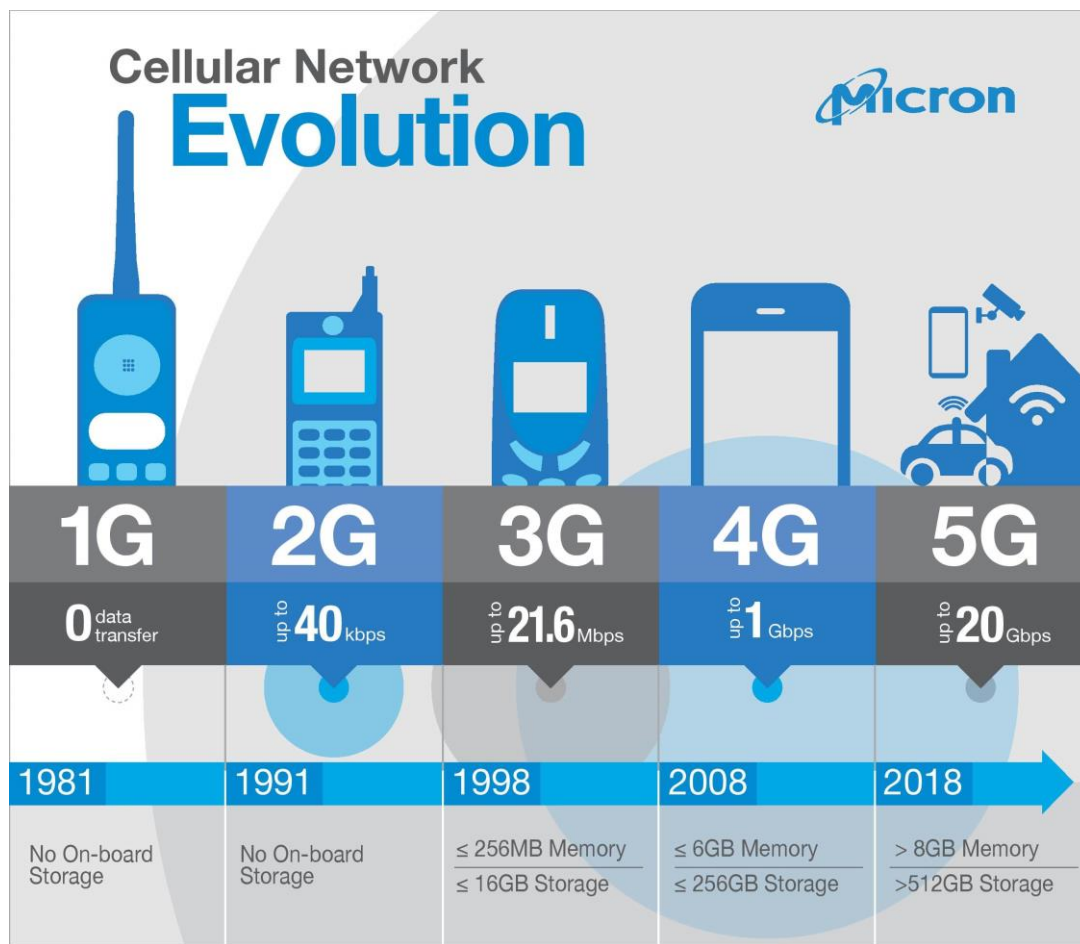
#### **2.4. Četvrta generacija pokretnih mreža – 4G**

Četvrta generacija se pojavljuje 2009. 4G podržava pristup internetu putem mobilne mreže, usluge igranja igara, 3D TV, video konferencije i druge značajke koje trebaju velike brzine. Prednosti ove generacije su mala kašnjenja, visoka učinkovitost i velika pojasna širina no nastali su i problemi.

Korisnici su primorani kupiti novi uređaj kako bi koristili 4G mobilne mreže zato što stariji mobilni uređaji ne podržavaju novi sustav. No može doći do toga da lokacija na kojoj se korisnik nalazi nije pokrivena 4G signalom pa čak i da korisnik ima uređaj koji može koristiti 4G brzine, neće biti u mogućnosti koristiti 4G zbog slabe pokrivenosti mreže [6].

Prvi standardi koji se koriste u 4G mobilnim sustavima su LTE (eng. *Long Term Evolution*) i IEEE 802.16e (eng. *Mobile WiMAX*) no oni nisu ispunjavali sve zahtjeve 4G mreže stoga se ustvari ne mogu nazivati pravim standardima 4G mobilnih sustava. Poslije se javljaju razvijenije verzije LTE-A i Mobile WiMAX Release 2 [8].

LTE upotrebljava OFDM (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), to je metoda višestrukog pristupa korištenjem frekvencijskog multipleksa ortogonalnih podnositelja gdje je OFDMA u silaznoj vezi a SCFDMA (eng. *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi. Radi ostvarenja velike brzine prijenosa podataka potrebno je koristiti višeslojno rješenje u terminalima i na baznim postajama zbog čega se upotrebljava metoda višeslojnog prijenosa MIMO (eng. *Multiple Input Multiple Output*)[6].



Slika 2.4. Usporedba generacija mobilnih uređaja [9]

### 3. PETA GENERACIJA POKRETNIH MREŽA – 5G

Peta generacija je novi globalni bežični standard napravljen da poveže cijeli svijet, od ljudi do strojeva i transporta. 5G koristi već postojeće tehnologije, ali nudi nove primjene te omogućuje izrazito brz pristup Internetu, velik broj spojenih uređaja te pouzdanu komunikaciju s zanemarivim kašnjenjem (latencijom). Osim ovih poboljšanja 5G mreža isto tako omogućava tzv. „network slicing“, tj. dodjeljivanje prijenosnih resursa ovisno o prioritetu, a to će biti od iznimne važnosti za budući IoT (*eng. Internet of Things*) ili posebne službe [10].

Povećanjem broja povezanih uređaja otvaraju se mogućnosti novim uslugama i povezanim poslovnim modelima koji pružaju mogućnost automatizacije u mnogim industrijskim vertikalnim sektorima poput energetike, e-zdravstva, pametnih gradova, povezanih vozila i industrijskih proizvodnja [11].



Slika 3.1. 5G povezanost [12]

ITU-R (*eng. International Telecommunication Union – radio sector*) je odredio tri osnovna područja korištenja 5G mreže [13]:

- eMBB (*eng. Enhanced Mobile Broadband*) – razvoj mobilnih mreža iz 4G usluge uz rast brzina, povećanje protoka podataka i povećanja kapaciteta

- URLLC (*eng. Ultra-Reliable Low-Latency Communication*) – korištenje mreže za radnje ili aplikacije od velike važnosti za poslovanja ili sigurnost, a za to im je potrebna neprekidna i stabilna veza za prenošenje ili obrađivanje podataka
- mMTC (*eng. Massive Machine-Type Communications*) – masovno povezivanje raznih uređaja kao što su dronovi za snimanje i izviđanje ili brzo spašavanje, uređaji u vozilima i automobilima korišteni za dijagnostiku ili sigurnost, pametni uređaji u kućama

Prema [14], Međunarodna telekomunikacijska unija izdala je IMT-2020 Standard (*eng. International Mobile Telecommunications-2020*). To je standard koji navodi potrebne parametre koji moraju biti zadovoljeni da bi se mreža smatrala 5G generacijom.

Osnovne karakteristike koje se traže od 5G mreže su:

- brzina prijenosa podataka – podržana minimalna brzina mora biti: najveća brzina prema korisniku (*eng. downlink*) je 20 Gbit/s, a najveća brzina od korisnika (*eng. uplink*) 10 Gbit/s. Osnovna brzina u urbaniziranim sredinama 95% vremena mora biti: downlink 100 Mbit/s, uplink 50 Mbit/s
- mobilnost – svesti prekapčanje na minimalno, tokom vožnje mobitel hvata signal od raznih baznih postaja koje se mijenjaju prilikom mijenjanja pozicije automobila – treba se omogućiti kretanje pri velikim brzinama bez da dolazi do prekida prilikom promjene bazne stanice
- latencija – usporavanje paketa: 1-4 ms
- kapacitet površinskog prometa - ukupni promet na pokrivenoj lokaciji: 10 Mbps/m<sup>2</sup>
- gustoća veze – milijun uređaja po 1 km<sup>2</sup>
- wireless, bežični internet – širokopojasno komuniciranje praćeno korištenjem raznovrsnih multimedijских sadržaja
- velika pouzdanost usluge – od 99,99%
- energetska učinkovitost – manje dimenzije i dulje trajanje baterije

### **3.1. Glavne razlike između 5G i prethodnih tehnologija**

5G predstavlja evoluciju u telekomunikacijskim standardima. Kako bi se poboljšale performanse, 5G će koristiti više frekvencije oko 3,5 GHz i do nekoliko desetaka GHz. Više frekvencije su nove u mrežama mobilnih telefona, ali se obično koriste u drugim aplikacijama, npr. skeneri tijela za sigurnosne provjere. Na tim višim frekvencijama 5G mreže koristiti će veći broj baznih stanica i povezanih objekata. 5G će upotrijebiti antene za oblikovanje snopa radi učinkovitijeg fokusiranja signala prema uređaju koji se koristi, umjesto da se signal širi u širokim smjerovima kao u trenutnim antenama bazne stanice [15].

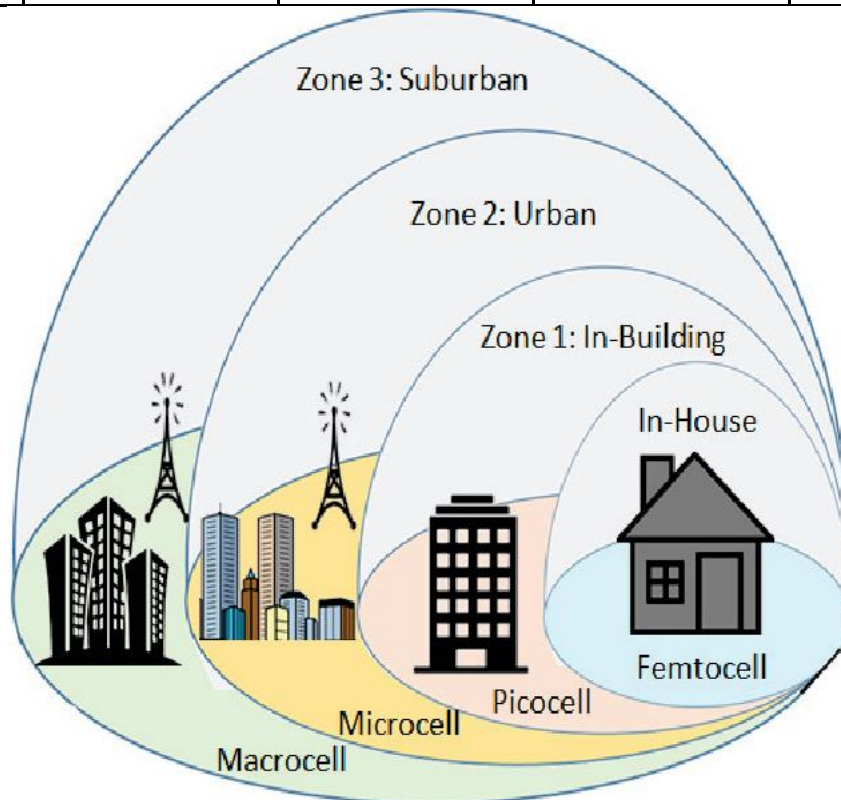
### **3.2. Arhitektura 5G sustava**

Arhitektura pete generacije mobilnih mreža temelji se na računalstvu u oblaku koje za osnovnu namjenu ima isporuku usluga krajnjim korisnicima. Računalstvo u oblaku jamči resurse koji isporučuju usluge krajnjim korisnicima neovisno o korisnikovoj lokaciji i vremenu. Da bi se krajnjem korisniku omogućio pristup željenim uslugama, korisniku mora biti omogućen pristup internetskoj mreži. Usluga je naplaćena na način da svaki korisnik plaća kontekst korištenja Internet mreže. Krajnjim korisnicima je omogućeno da za vrijeme upotrebe oblaka mogu osobno odrediti cjelokupnu kontrolu nad tim oblakom [16].

Povećavanjem brzina prijenosa podataka i mrežnog kapaciteta dolazi do povećanja broja antena na baznim stanicama koje se implementiraju u cjelokupnu arhitekturu 5G mreže. Implementacije antena na navedeni način u telekomunikaciji se naziva MIMO sustav. MIMO antene odašilju visokofrekvencijske valove od 30 do 300 GHz i širokog pojasa transmisije. S takvim valovima omogućava se postizanje velikih brzina prijenosa podataka 1-10 Gb/s. Kako su valovi visokih frekvencija tako su i kratkog dometa stoga je nužan velik broj antena što dovodi do implementacijski otežavajućeg faktora. Način rada antena zasniva se na razvoju manjih ćelija velikih gustoća (*eng. Hyperdense small-cell development*) koje su podijeljene na mikro ćelije, piko ćelije i fempto ćelije [17].

Tablica 3.1. Karakteristike ćelija [18]

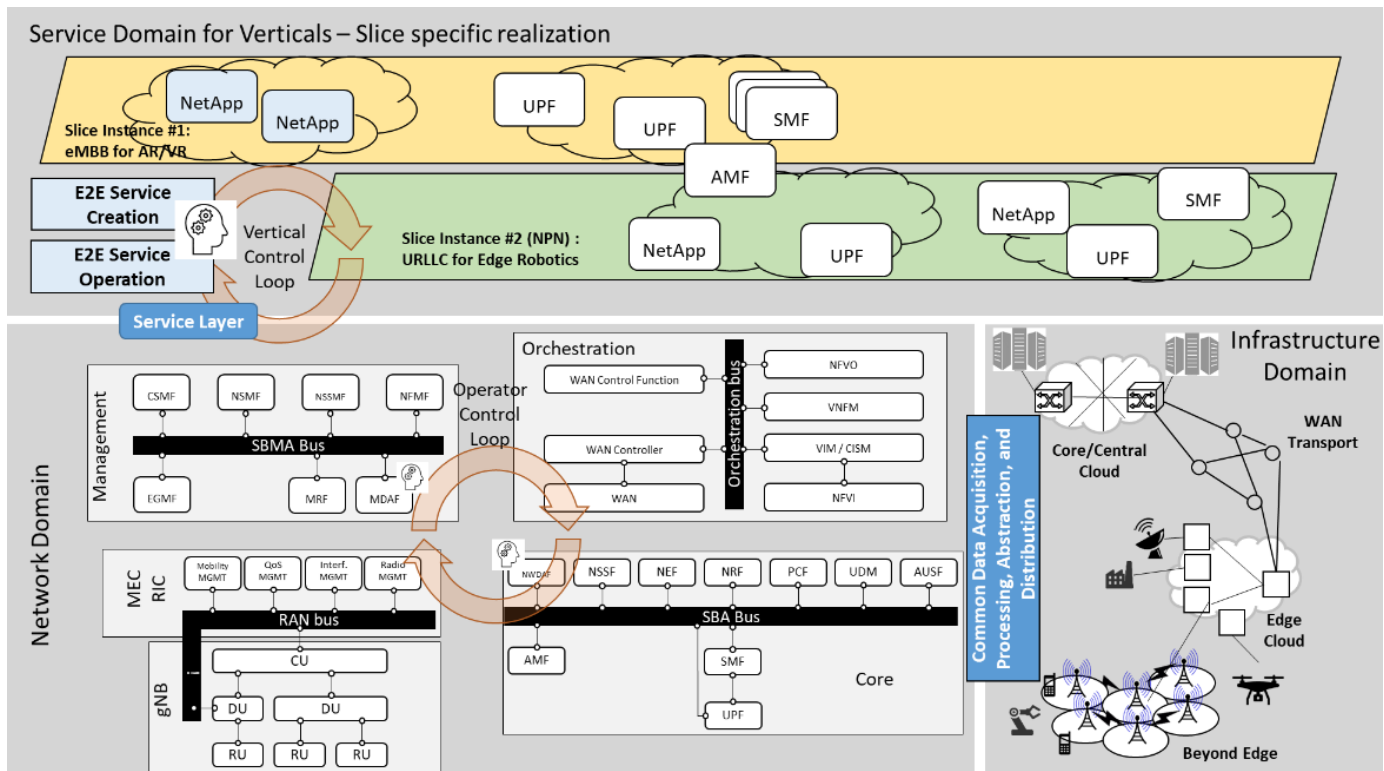
Tip ćelije	Izlazna snaga [W]	Radijus pokrivanja [km]	Broj krajnjih korisnika	Pristup Internet mreži
Femto ćelije	0,001-0,25	0,001-0,1	1-30	Zatvoreno područje
Piko ćelije	0,25-1	0,1-0,2	30-100	Otvoreno i zatvoreno područje
Mikro ćelije	1-10	0,2-20	100-2000	Otvoreno i zatvoreno područje
Makro ćelije	10-50	8-30	>2000	Otvoreno područje



Slika 3.2. Ćelije u prostoru [19]



S povećanjem količine korisničkih zahtjeva stvara se potreba za radnim okvirima od kraja-do-kraja koji omogućavaju znatno veću razinu automatizacije u stvaranju usluga i njihovim upravljanjem, a odnositi će se na kompletni životni ciklus upravljanja komponentama mrežnih rezova. Automatizacijsko upravljanje životnih ciklusa na uslužnoj razini (*eng. Service Level*) postignuto je zatvorenim petljom ispunjenja usluge, osiguranja usluge i funkcijama orkestracije usluge, pritom je potrebno uzeti u obzir sve faze životnog ciklusa: fazu pripreme, fazu konfiguriranja i aktivacije, fazu rada i fazu razgradnje (Slika 3.2.) [11].



Slika 3.2. Arhitektura 5G mreže [20]

Korisničko sučelje (*eng. User Interface*), heterogena radio pristupna mreže bazirana na virtualnom oblaku (*eng. Cloud-based Heterogeneous Radio Access Network*), jezgra nove generacije (*eng. Next Generation Core*), rubni oblak (*eng. Edge Cloud*) i centralni oblak (*eng. Central Cloud*) su glavne sastavnice mreže. Jezgra nove generacije bazirana je na oblaku koji upotrebljava odsječke mreže (*eng. Network slicing*), virtualizaciju mrežnih funkcija NFV (*eng. Network Functions Virtualisation*) i softverski definirano umrežavanje SDN (*eng. Software Defined Networking*) za podržavanje reznih primjena.

SDN i NFV koristiti će se kao virtualna paketna jezgra VEPC (*eng. Virtual Evolved Packet Core*); sastavljenu od modularizirane mrežne funkcije koja je novi oblik EPC-a baziranu na odsječcima mreže. Od jezgre nove generacije se očekuje da će biti samostalna. Odvajanje

kontrola i korisnika od iznimne je važnosti radi ostvarenja prilagodljive arhitekture. Heterogena radio pristupna mreža kombinira centralizaciju, koordinaciju i virtualizaciju za efikasno i fleksibilno dijeljenje resursa. Uz 3GPP pristup i ne 3GPP pristup (*eng. non-3GPP*) dodane su i nove radio tehnologije kako vi se efikasnije iskoristio spektar [21].

### **3.2.1. 5G Novi Radio (*eng. 5G New Radio (5G-NR)*)**

5G Novi Radio čini novi tip odašiljačke tehnologije koja se primjenjuje u 5G mreži. Za rad 5G mobilnih komunikacijskih sustava od velike je važnosti 5G-NR. 5G-NR je razvijen na temelju zahtjeva koje 5G mreža treba ispuniti. 5G Novi Radio sastavljen je od raznih komponenata koje su puno fleksibilnije te posjeduju sposobnost prilagođenja zahtjevima koji se stalno mijenjaju. 5G-NR korištenjem modulacije, valnih oblika i pristupnih tehnologija omogućuje da sustavu ima veće brzine, manja kašnjenja i bolju energetska učinkovitost [21].

5G-NR se dijeli na dva frekvencijska pojasa zbog korištenja širokog spektra. Prvi frekvencijski pojas, FR1 definiran je za frekvencije manje od 6 GHz, najčešće korišteni pojas je od 3.5 GHz u trenutno realiziranim 5G mrežama, a maksimalna propusnost kanala mu je od 100 MHz. Drugi frekvencijski pojas, FR2 koristi se za milimetarski valni spektar, a definirana propusnost je od 50 MHz do 400 MHz i koristi frekvenciju do 300 GHz.

Jedan od glavnih ciljeva 5G-NR signala je povećanje preciznosti u pozicioniranju. Standard uključuje dodatne resurse za pozicioniranje kao što su pozicijski referentni signali (PRS). Naspram 4G sustava, 5G-NR raditi će na višim frekvencijama, u području milimetarskih valova (*eng. mmWave*). To omogućuje korištenje šireg pojasa frekvencija i dodjelu većeg broja resursa za pozicioniranje [11].

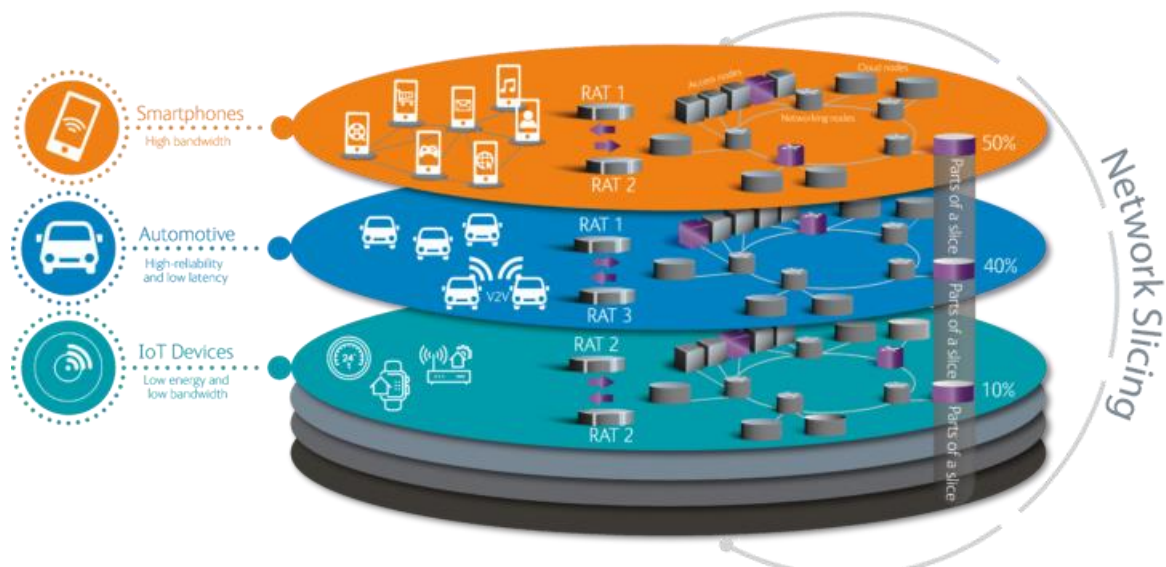
### **3.2.2. Mreža za pristup radiju (*eng. Radio Access Network – RAN*)**

RAN ima ulogu upravljanja radio spektrom tako što pazi da se spektar učinkovito koristi i odgovara na zahtjeve usluga svih korisnika. Sastoji se od malih ćelija (*eng. small cells*), tornjeva, jarbola (*eng. masts*) i namjenskih sustava u kući te kućnih sustava koji spajaju mobilne korisnike i bežične uređaje s glavnom jezgrom mreže. 5G makro ćelije koriste se MIMO antenama koje imaju više elemenata ili veza da bi istovremeno primale i slale više podataka. Masivnim MIMO nazivamo MIMO antene koje koriste vrlo velik broj antenskih elemenata [7].

### 3.2.3. Mobilna jezgra (eng. Mobile Core)

Jezgrom mreže naziva se podatkovna mreža korištena u razmjeni a svrha joj je upravljnje svim internetskim i podatkovnim vezama te mobilnim glasovima. Preuređenjem jezgre 5G mreže postiže se bolje integriranje s Internetom i uslugama koje se temelje na oblaku. Uz to su uključeni distribuirani poslužitelji širom mreže čime je smanjeno kašnjenje i poboljšano vrijeme odziva. Jezgra mreže upravlja mnogim naprednim 5G značajkama kao što su rezanje mreže za različite usluge i aplikacije te virtualizacija mrežnih funkcija [7].

Rezanje mreže je upotreba virtualizacije mreže za podjelu individualnih mrežnih veza na više raznovrsnih virtualnih veza koje nude raznovrsne količine resursta raznovrsnim prometima [22].



Slika 3.3. Rezanje mreže [23]

### 3.2.4. Masivni MIMO (eng. Massive MIMO)

Masivni MIMO čini produžetak MIMO-a, potrebno je naglasiti da se Masivni MIMO ne zove tako zbog svoje veličine (fizička veličina je slična 3G i 4G antenama baznih stanica) već zbog velikog broja antena koje ima. Za razliku od 4G baznih stanica koje se sastoje od priključaka za antene kojima se upravljaju svi stanični promet: osam za odašiljače i četiri za prijammike, 5G bazne stanice imaju mogućnost podržavanja oko sto priključaka, time omogućavajući da više antena stane na jedan niz. To omogućuje da bazne stanice istodobno šalju i primaju signale od mnogo više korisnika.

Glavni izazov za masivni MIMO je smanjenje smetnji prilikom prenošenja više informacija s mnogo više antena. Na masivnim MIMO baznim stanicama nalaze se algoritmi koji obrađuju

signale i ucrtavaju najbolji put prenošenja signala zrakom do svakog korisnika. Na taj način je omogućeno slanje pojedinačnih paketa podataka u različitim smjerova, odbijajući ih od zgrada i drugih objekata u točno koordiniranom uzorku [14].

Prednosti upotrebe masivne MIMO tehnologije su [3]:

*a) povećanje energetske učinkovitosti za 100 puta a kapaciteta 10 i više puta*

Prostorno multipleksiranje je razlog povećanja kapaciteta. Prostorno multipleksiranje najčešće se koristi u bežičnom prijenosu, a provodi se tako da se više antena spaja u jednu tzv. multipleksirajuću koja istodobno radi s više kanala. Broju spojenih antena definira broj kanala. Bazna stanica šalje energiju na točnu lokaciju terminala. Deset puta više terminala istodobno upotrebljava jedan izvor što je isto omogućeno zbog prostornog multipleksiranja te se tako ne gubi na učinkovitosti.

*b) upotreba jeftinijih komponenti manje snage*

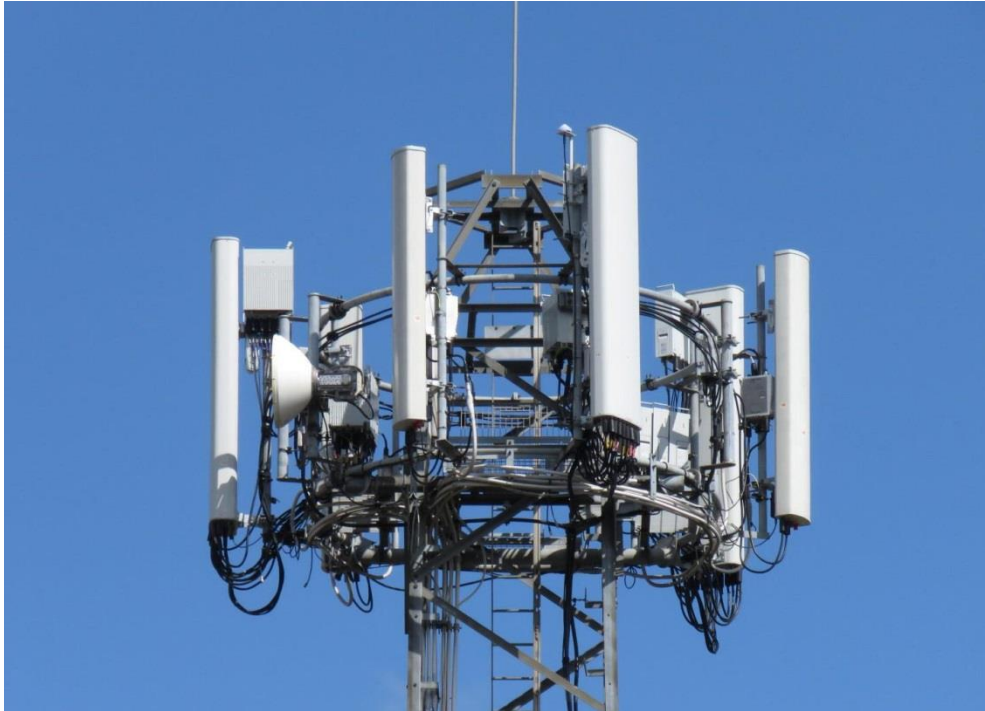
Otklanja se velik broj skupe i masivne opreme poput koaksijalnih kablova koji se onda nadomještaju jeftinijim. Također, MIMO sustav koristi mnogo jeftinijih pojačala manje snage umjesto skupih pojačala veće snage.

*c) smanjenje latencije*

Latencija je među bitnijim problemima pokretnih mreža. Temeljni razlog latencije je oslabljenje signala. Signal putuje od baze različitim putevima te kad dođe do terminala već je oslabio, dolazi do reduciranja njegove snage. Taj problem smanjenja snage se otklanja korištenjem masivnog MIMO-a.

*d) pojačavnje jačine protiv namjernog upadanja i ometanja*

Upadi u mrežu jedna su od ključnih prijetnji računalne sigurnosti. Smanjivanje prijetnji od ometanja i namjernog upadanja omogućuje masivni MIMO koji povećava snagu signala.



*Slika 3.1. Masivni MIMO [24]*

#### **4. NORMA EU HR 62232**

Radiofrekvencijski valovi imaju sposobnost prodiranja u ljudsko tijelo glavni efekt tog prodiranja je porast temperature u izloženom tkivu. Zbog mogućnosti reguliranja unutarnje topline ljudsko tijelo prilagodljivo je malim povećanjima temperature, ali ako izlaganje RF valovima dođe iznad određene visine tada, porastom temperature, moguće su ozbiljne posljedice po zdravlje poput oštećenja tkiva ili toplinskog udara. Povećanjem frekvencije elektromagnetskog polja dolazi do manje dubine prodiranja elektromagnetskih valova u tijelo [25].

Kako bi se izbjegao štetan utjecaj na ljudsko zdravlje postoje nadležna tijela koja definiraju propise i norme. Jedna od tih normi je norma 62232. Norma EU HR 62232 služi za određivanje jakosti, gustoće snage i SAR-a (*eng. Specific Absorption Rate*) RF polja u blizini radiokomunikacijskih baznih postaja za potrebe vrednovanja ljudske izloženosti. Norma 62232 razmatra zračenje radiokomunikacijskih baznih postaja koje emitiraju na jednoj ili više antena koristeći jednu ili više frekvenija u rasponu od 110 MHz do 100 GHz te razmatra utjecaj vanjskih izvora na RF izloženost u području frekvencija od 100 kHz do 300 GHz.

S normom su određene metode korištene za procjenu izloženosti RF zračenja primjenom procjene usklađenost i to za:

- usklađenost proizvoda – utvrđuju se granični podaci o usklađenosti radiokomunikacijskih baznih postaja prije puštanja na tržište
- usklađenost instalacije proizvoda – određuje se ukupna razina RF izlaganja iz radiokomunikacijskih baznih postaja i drugih relevantnih izvora prije puštanja proizvoda u uporabu
- procjena izloženosti RF zračenju na licu mjesta – mjeri se razina izloženosti u blizini radiokomunikacijskih baznih postaja nakon što je proizvod pušten u rad

Norma opisuje nekoliko metoda mjerenja jakosti RF polja i SAR-a uz smjernice koje objašnjavaju kako primjeniti metode ovisno radi li se o laboratorijskom mjerenju ili se rad o mjerenju na licu mjesta te daje smjernice o tome kako izvještavati, tumačiti i uspoređivati rezultate iz različitih metodologija ocjenjivanja i, ako to zahtijeva svrha ocjenjivanja, kako utvrditi opravdanu odluku u odnosu na graničnu vrijednost [26]. Raspon metoda je od jednostavnih za primjenu do preciznijih vrednovanja. Omogućuje se jasna primjena i korištenje već izračunatih nesigurnosti. Norma pruža upute o tome kako provjeriti valjanost metoda [27].

Iznad 10 MHz referentna razina jakosti magnetskog polja jednaka je jakosti električnog polja podjeljenom s karakterističnom valnom impedancijom dok je ispod 10 MHz ona jednaka ili viša jakosti električnog polja podjeljenom s karakterističnom valnom impedancijom. Da bude jednaka udaljenost  $d$  do odašiljača mora biti tolika da se snaga reaktivnih komponenti može zanemariti. Norma 62232 ovo područje naziva regijama izvora II i III. Da bi pretpostavka vrijedila moraju biti ispunjena tri uvjeta:

1.  $d > \lambda$
2.  $d > D$
3.  $d > \frac{D^2}{4\lambda}$

gdje  $\lambda$  predstavlja valnu duljinu odašiljanog polja, a  $D$  najveću dimenziju odašiljačke antene [28].

Standard pruža poboljšanu metodologiju za procjenu izloženosti elektromagnetskom polju tako što se stvarna maksimalna vrijednost snage definira kao 95% izmjerene vrijednosti za razliku od prethodnih metoda koje su uzimale teoretske maksimalne vrijednosti. Na taj način, predložena

metodologija uzima u obzir dugoročne rezultate prostornog multipleksiranja koje nastaju zbog masivnog MIMO-a i TDD (*eng. Time Division Duplex*) prijenosa [29] .

## 5. MJERENJE 5G SUSTAVA

U temelju 5G mreža radi kao i prijašnje pokretne mreže tako da se radiofrekvencijski signali odašilju iz bazne postaje što dovodi do komuniciranja s mobilnim uređajem. Razvoj 5G mreža biti će postepen, preko nadogradnje dosadašnjih mreža na postojećim lokacijama [30]. Izgradnjom 5G mreža dolazi do rasta broja baznih postaja koje istodobno koriste razne tehnologije te rade u velikom broju radiofrekvencijskih pojasa. Iz gledišta zaštite ljudskog zdravlja 5G tehnologija se ne razlikuje puno od već upotrebljivanih tehnologija koje koriste bliske frekvencijske pojase za pokretne mreže.

Granične razine za frekvencijske pojase koji će biti korišteni za 5G su već propisani Pravilnikom Ministarstva zdravstva. Prvotni pojasevi koji će biti korišteni su 700 MHz i 3,6 GHz, a koriste se za TV i nepokretni bežični pristup. Kasnije će 5G koristiti frekvencijske pojaseve koje su upotrebljavale i prethodne generacije pokretnih mreža. Osim tih frekvencijskih pojasa, 5G će koristiti i druge koji zasad nisu bili upotrebljavani u komercijalnim svrhama. Frekvencijski pojasi prikazani su u Tablici 5.1. [31].

*Tablica 5.1.* Frekvencijski pojasi koje će 5G koristiti [30]

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

Frekvencijski pojas 700 MHz (694-790 MHz) prvenstveno je korišten kako bi se povećala geografska pokrivenost područja ruralnih i udaljenih područja. Pojas 3,6 GHz (3,4-3,8 GHz) najviše će biti korišten da bi se povećao kapacitet urbanih područja. Pojas 26 GHz (24,25-27,5

GHz) prvotno će se upotrebljavati za nepokretni bežični pristup (*eng. Fixed Wireless Access - FWA*) velikog kapaciteta.

Makro bazne postaje postavljene na antenske stupove i krovne nosače omogućuju pokrivanje velikog geografskog područja. Za instalacije izvedene u zatvorenim prostorima ili zbog potreba dodatnog kapaciteta u mrežama postavljene su pristupne točke malog dometa (*eng. Small Cell*) koje imaju manju zračnu snagu. Realizacijom 5G mreže predviđa se rast broja takvih baznih postaja zbog čega Europska unija ima u planu propisati tehničke karakteristike tih postaja za koje će postojati zakonska procedura postavljanja. Pristupne točke malog su dometa i malih dimenzija te rade s malim izrečenim snagama, a biti će postavljene blizu malih i mikro ciljanih područja pokrivanja. Način instalacije malih ćelija i njihove tehničke karakteristike su u skladu s europskim standardom EN 62232:2017 [30].

### **5.1. Specifičnosti mjerenja jakosti signala u 5G mrežama**

Prema [29], trenutna metodologija korištena u utvrđivanju izlaganja elektromagnetskom polju oslanja se na pretpostavku da odašiljačke antene imaju predvidljiv uzorak zračenja. Uz to, metodologija pretpostavlja da bazna stanica odašilje radio signale s maksimalnom teoretskom snagom kao i da je distribucija elektromagnetskog polja u blizini bazne stanice kvazi-determinističke prirode. Sve ove pretpostavke nisu prikladne za 5G tehnologiju čije antene se značajno razlikuju od onih korištenih u prijašnjim generacijama pokretnih mreža.

Za razliku od prijašnjih generacija čiji se prijenos signala odvijao u širokom spektru, 3D oblikovanje snopa omogućuje upravljanje zrakama u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini zbog čega se radijski signal precizno šalje na prijemni terminal što isto čini mjerenje jakosti signala specifičnim u 5G mreži. Ove značajke dovode do nemogućnosti izravne uporebe metodologije koja je bila korištena za starije generacije mreža. 5G mreža uvodi se postupno, a 2G, 3G i 4G bazne stanice se neće maknuti iz upotrebe. Zbog toga nova metodologija mjerenja elektromagnetskog polja treba uzeti u obzir sve izvore radiofrekvencijskog signala pritom uzimajući u obzir i radiokomunikacijske sustave starijih pokretnih mreža. 5G sustavi imati će smanjenu potrošnju energije i široku pokrivenost zahvaljujući visoko optimiziranim mehanizmima. Da bi to bilo moguće radio signal prenosi se kao uski snop koji je usmjeren samo u smjeru korisničkog terminala koji isto dinamički prati pokretni terminal. Novi uzorak zračenja 5G antena nastaje zbog visokih frekvencija koje se difraktiraju i šire u različitim smjerovima, a



kako uzorak treba uključivati omotač svih prenesenih radio snopova postojeći modeli korišteni u procjeni izloženosti elektromagnetskom polju nisu zadovoljavajući.

Kako bi vrijeme potrebno za razmjenu podataka između bazne stanice i terminala bilo što kraće, 5G će se puno oslanjati na korištenje TDD-a. Zato je stara metodologija koja smatra da je veza dugoročna i stabilna s maksimalnom snagom u svim smjerovima vrlo nepraktična i dovesti će do velikih pogrešaka u rezultatima mjerenja, a time i izloženosti elektromagnetskom zračenju.

Zbog složenosti i visokih frekvencija trenutno ne postoje frekvencijski i kodno selektivna mjerna oprema namjenjena za frekvencije iznad 6 GHz, ali postoji širokopolasna oprema za mjerenje elektromagnetskog polja.

## 5.2. Provedena mjerenja

### 5.3.1. Postupak procjene 5G NR signala ispod 6GHz

Predložena metodologija mjerenja sastoji se od pet koraka [32]:

#### 1. Pregled spektra

Izvršava se mjerenje frekvencijskog raspona kako bi se identificirali RF signali koji su prisutni na mjernom mjestu. Za frekvencijski raspon se uzimaju frekvencijska područja koja se koriste za telekomunikaciju (između 700 Mhz i 6 GHz). Širina pojasa rezolucije, RBW (*eng. Resolution Bandwidth*) postavlja se na minimalnu pojasnu širinu koju koriste postojeći telekomunikacijski signali da bi se razlikovali signali različitih pokretnih mreža (2G-5G). RBW će iznositi 200 kHz jer tu frekvencijsku širinu koristi 2G. Detektor vrha kombiniran s dugim vremenom promjene frekvencija (SWT) omogućuju prikaz svih signala koji se ponavljaju na lokaciji mjerenja. Vrijeme mjerenja po uzorku jednako je trajanju jednog 5G NR radijskog okvira (10 ms). S ovakvim postavkama razina snage je tipično precijenjena zbog modulacija zbog čega se daljnji zaključci ne mogu donijeti. Spektar signala ovisiti će o zemlji u kojoj se mjerenja izvršavaju i operaterima koji su kupili dijelove frekvencijskog spektra.

#### 2. Lociranje SS(*eng. Synchronization Signal*) burst-a <sup>1</sup>

Važan korak u procjeni 5G-NR signala na temelju ekstrapolacije SSB (*eng. Synchronization Signal Block*) snage je određivanje stvarnog mjesta SS burst-a. U ovom koraku se identificira frekvencijski položaj i numerologija SS blokova.

---

<sup>1</sup> SS burst sastoji se od SS blokova koji služe za prijenos OFDM simbola

Nakon identifikacije postojećih 5G NR kanala, lociraju se frekvencijski položaji njihovih radiodifuzijskih signala. Iznosi  $SS_{REF}$  (centralna frekvencija SS bloka), SSB-a i centralna frekvencija 5G NR kanala dani su od strane operatera ili se moraju dobiti spektralnim analizatorom. Frekvencijski raspon posatavlja se na 100 MHz jer je to najveće raspon koji 5G NR signal ispod 6 GHz može imati, RBW se namješta da bude uži od minimalnog frekvencijskog raspona što ga ima SS blok. Vrijeme mjerenja po uzorku postavlja se na 143  $\mu$ s jer je to najkraće trajanje SS bloka u 5G NR signalu ispod 6 GHz. Bez prometa u mreži ove postavke daju najvišu razinu snage kada SA pomjera frekvenciju i vremenski raspon SSB-a odnosno kada su dva simbola prenesena istom snagom. Iscrtavanjem maksimalne snage po frekvenciji dobiva se raspon frekvencija SSB-a.

3. Dobivanje razine polja po RE-u (*eng. Resource Element*)

Mjeri se jakost električnog polja prema RE. Određuje se distribucija snage RE-a koji su dio SSB-a. Traži se ponavljajući signal čije trajanje je određeno strukturom SS burst-a. Usklađivanje mjernih uzoraka u vremenu trebalo bi pokazati kada je SS burst prenesen. Tada se zadržavaju samo uzorci koji su mjereni tokom dominantnog SSB-a koji se nalazi u SS burst-u. Da bi kontinuirano mjerili snagu koja je primljena u SSB-ovom frekvencijskom rasponu autori rada su odabrali način mjerenja nultog raspona. To je način kojom se mjeri primljena snaga unutar određenog frekvencijskog pojasa u funkciji vremena gdje je  $SS_{REF}$  jednak središnjoj frekvenciji, a RBW je manji ili jednak minimalnoj širini pojasa SSB-a. Kako bi se izjednačile varijacije u vremenu, koje nastaju zbog OFDM modulacije, i frekvenciji za vrijeme mjerenja po uzorku se uzima vrijeme koje je otprilike jednako vremenu SSB simbola, a za RBW se minimalno uzima 1 MHz. Uz sve to se i koristi RMS detektor. Za određivanje snage po RE uzima se faktor odbitka koji mora biti primjenjen na dobivenu izmjerenu snagu.

$$f_{BW} = 10 \log_{10} \frac{RBW}{SCS} \quad (5-1)$$

Gdje SCS predstavlja razmak između podnosioca.

4. Mjerenje trenutne razine polja

Određuje se prosjek snage električnog polja preko propusnosti kanala tijekom određenog vremena. Vremenski prosječna trenutna jakost električnog polja može se izmjeriti

pomoću spektralnog analizatora preko frekvencijskog ili nultog raspona. Formula za računanje prosječne trenutne jakosti električnog polja preko frekvencijskog načina:

$$E_{avg} = \sqrt{\sum_{j=1}^N \frac{E_j^2}{N}} \quad (5-2)$$

Gdje N predstavlja broj uzastopnih mjerenih tragova, a  $E_j$  (gdje je  $j=1, \dots, N$ ) jakost polja u trenutku j-tog mjernog traga.

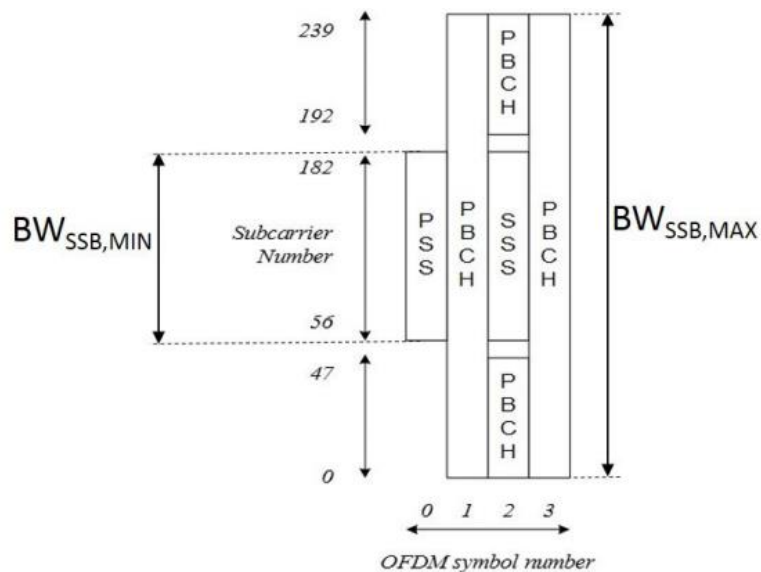
Formula za računanje prosječne trenutne jakosti električnog polja preko nultog raspona:

$$E_{k,avg} = \sqrt{\sum_{i=1}^{M_k} \frac{E_i^2}{M_k}} \quad (5-3)$$

Gdje je  $E_{k,avg}$  prosječna trenutna jakost razine polja, a  $M_k$  uzastopni uzorci. U ovoj metodi svi  $E_{k,avg}$  se zbroje da bi se dobila  $E_{avg}$ .

## 5. Naknadna obrada

Ekstrapolira se SSB do teoretske maksimalne razine izloženosti. Zatim se uspoređuju dobivene razine izloženosti sa relevantnim granicama izloženosti koje su dane od strane Instituta inženjera elektrotehnike i elektronike (IEEE) ili Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućih zračenja (ICNIRP).



Slika 5.1. Izgled SS bloka koji se sastoji od PBCH-a (eng. *Physical Broadcast Channel*), PSS-a (eng. *Primary Synchronization Signals*) i SSS-a (eng. *Secondary Synchronization Signals*)[30]

### **5.3.2. Mjerenje HAKOM-a u Gradu Osijeku**

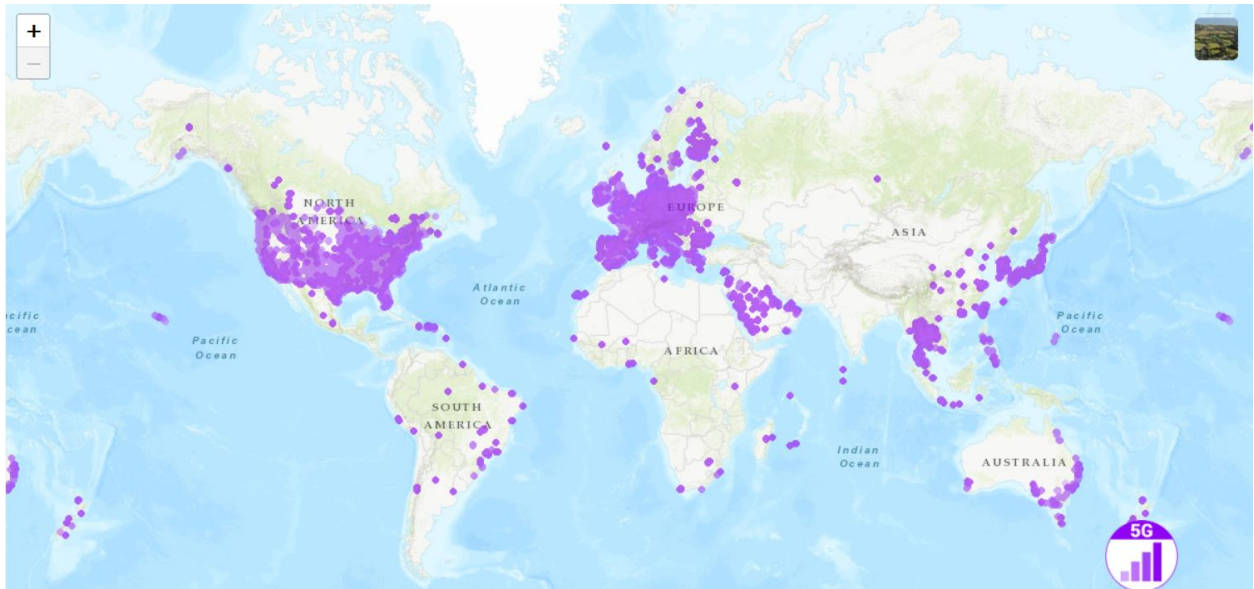
Osijek je odabran kao prvi hrvatski 5G grad te je HAKOM u periodu od 8.6.2020. do 19.6.2020. od 8:00 h do 17:00 h proveo odgovarajuća mjerenja elektromagnetskih polja u frekvencijskom pojasu 3,6 GHz i to na način da su mjerenja obavljena prije i poslije pokretanja prijenosa podataka uzevši u obzir da su bazne postaje u testnom načinu rada i da u mreži nema prometa.

Prije nego što se pokrenuo prijenos podataka izmjerene su izrazito niske razine elektromagnetskih zbog čega se usklađenost s dopuštenim razinama elektromagnetskih polja provjeravala nakon pokretanja podataka. Usklađenost postavljenih baznih postaja s dopuštenim razinama elektromagnetskog polja provjeravala se u odnosu na granične vrijednosti propisane Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN br. 146/14 i 31/19) Ministarstva zdravstva. Navedeni pravilnik propisuje granične vrijednosti razina elektromagnetskih polja za područja povećane osjetljivosti (poput zgrada stambene i poslovne namjene, škola, bolnice, rodilišta i drugo) i javna područja.

Mjerenja su sukladno mjernom protokolu obavljena na visini 1,5 m iznad tla odnosno etaže te je na sve izmjerene vrijednosti unesena proširena mjerna nesigurnost u iznosu 2,5 dB. Granična razina jakosti električnog polja E u frekvencijskom pojasu 3,6 GHz iznosi 24,4 V/m na području povećane osjetljivosti, odnosno 58 V/m na javnim područjima. Niti na jednoj mjernoj točki nisu izmjerene razine elektromagnetskih polja veće od propisanih graničnih vrijednosti [33].

## 6. 5G U SVIJETU I HRVATSKOJ

Broj 5G mreža značajno se povećao u Europi i izvan Europe od početka 2019. Južna Koreja, Kina i Sjedinjene Države su zemlje koje predvode svijet u izgradnji i primjeni 5G tehnologije. Samo Litva, Malta i Portugal nisu pokrenule 5G usluge u EU-u krajem ožujka 2021. godine. Krajem ožujka 2021. 5G komercijalne usluge bile su uvedene u 24 zemlje EU-27 [34].



Slika 5.1. Trenutna pokrivenost 5G u svijetu[35]

### Južna Koreja

SK Telecom, LGU+ i KT pokrenuli su 5G usluge u prosincu 2018. za poslovne korisnike, a u travnju 2019. za stambene korisnike. Korejska vlada objavila je da su operateri početkom 2020. rasporedili ukupno 115.000 5G baznih stanica u cijeloj zemlji. Zemlja je završila siječanj 2021. s 12,87 milijuna pretplatnika na 5G, prema podacima Ministarstva znanosti i ICT -a. Južnokorejski telekomunikacijski operateri očekuju veliki porast u usvajanju 5G-a u 2021. s vrhunskim bežičnim operaterom SK Telecom koji ima za cilj imati 9 milijuna korisnika 5G-a do kraja 2021. godine, a manji rival LG Uplus cilja 4 milijuna [34].

### Australia

U Australiji Telstra i Optus postigli su značajan napredak u uvođenju svojih 5G mreža diljem zemlje. U lipnju 2021. Telstra je objavljuje da je njihova 5G mreža dosegla 75% australskih domova. To je pokrivenost koja živi u više od 2.7000 predgrađa i više od 200 gradova i mjesta. Telstra također tvrdi da u njihovoj mreži radi više od 1,5 milijuna 5G uređaja. Od siječnja 2020. Vodafone je lansirao 5G na više od 80 lokacija diljem Australije [36].

## **Japan**

Japanska vlada dodijelila je mobilnim operaterima u Japanu (NTT Docomo, KDDI au i Softbanki Rakuten Mobile) 5G spektar u travnju 2019. godine. Očekuje se da će u narednim godinama četiri japanska operatora potrošiti više od 14 milijardi dolara zajedno na kapitalne izdatke, uključujući ulaganja u bazne stanice, poslužitelje i optička vlakna, za izgradnju svojih 5G mreža. Podaci koje je prikupio Fitch Research ukazuju da će 5G postati dominantna mobilna tehnologija u Japanu do 2026. godine i da će do 2029. godine u zemlji biti otprilike 45 milijuna 4G pretplata i više od 151 milijuna 5G pretplata [37].

## **Kina**

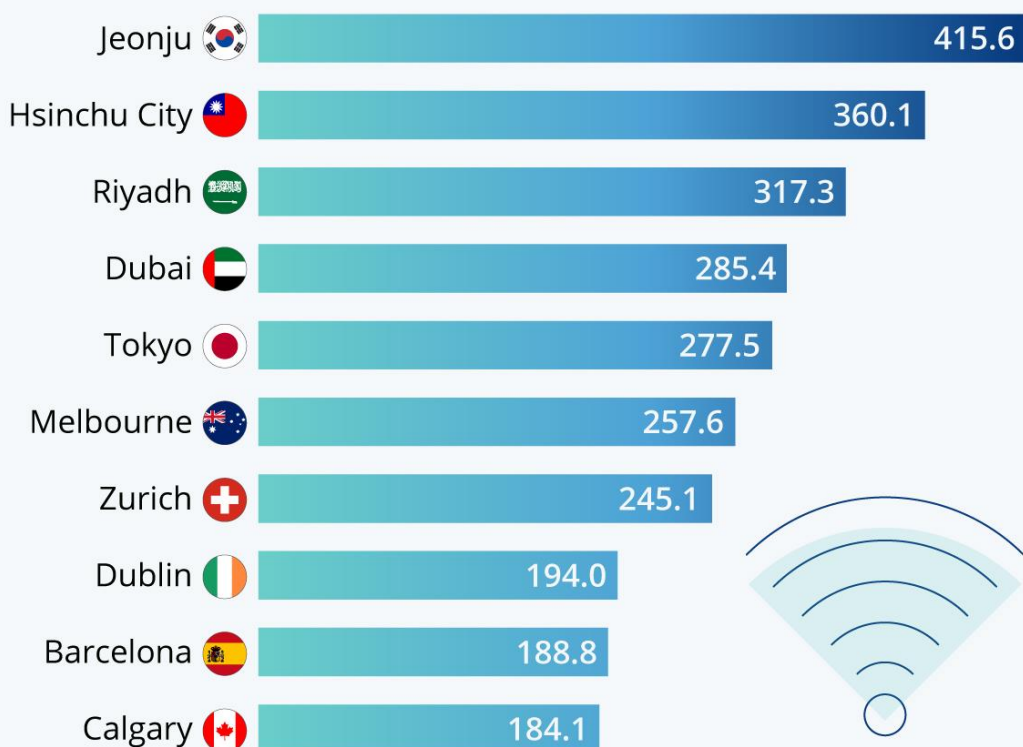
Kina je u lipnju 2019. dodijelila 5G licence četirima tvrtkama (China Mobile, China Unicom, China Telecom i China Broadcasting Network). China Mobile, China Telecom i China Unicom pokrenuli su usluge 5G 1. studenog 2019. Svaka od tvrtki aktivirala je svoju mrežu u 50 gradova pri pokretanju, uključujući Peking, Šangaj, Guangzhou, Shenzhen, Hangzhou, Nanjing, Tianjin, Wuhan, Jinan i Zhengzhou. Početkom listopada 2019. tri su velika mobilna operatera već registrirala gotovo 9 milijuna korisnika 5G-a prije službenog lansiranja. China Mobile najavio je 5,32 milijuna pretplatnika, China Telecom 1,76 milijuna pretplatnika, a China Unicom 1,75 milijuna korisnika [34].

## **Sjedinjene Američke Države**

Verizon 5G Home service pokrenuta je u listopadu 2018. u ograničenim područjima četiri američka grada (Houston, Sacramento, Indianapolis, Los Angeles). Telekomunikacijska kompanija napomenula je da platforma može isporučiti najveće brzine do 1 Gb/s, iako korisnici mogu očekivati 'tipične' brzine od oko 300 Mb/s. Početkom listopada 2020. usluga je bila dostupna i u Chicagu, Detroitu, Saint Paulu i Minneapolisu, a do kraja 2020. tehnologija je bila dostupna u deset gradova diljem zemlje. AT&T tvrtka je pokrenula svoje '5G E' mobilne usluge u određenim dijelovima odabranih gradova u prosincu 2018., koristeći frekvencijski raspon od 39 GHz. Krajem srpnja 2020. AT&T je objavio da njihova 5G mreža dostupna milijunima potrošača u cijeloj zemlji. Do studenog 2020. AT&T-ova 5G mreža dosegla je više od 225 milijuna ljudi u oko 14 000 gradova u SAD -u [34].

# The Cities With The Fastest 5G Speeds

Cities with the fastest 5G download speeds globally in Mbps (Jan 01-Mar 31, 2021)



Source: OpenSignal



statista

Slika 5.2. Gradovi s najvećom brzinom 5G mreže [38]

U većini zemalja operateri su do sada pokrenuli samo prvu verziju 5G standarda koristeći jedan bežični 5G frekvencijski pojas. No, u drugim zemljama operateri počinju napredovati nudeći 5G na više opsega spektra ili koriste mmWave tehnologije za nuđenje iznimno velikih brzina. Dok su u drugim zemljama, ponajviše u Americi i dijelovima jugoistočne Azije, operateri u početku bili ograničeni ograničenom dostupnošću spektra prikladnog za 5G [39]. Vjeruje se da će do 2025. godine 5G mreže pokriti trećinu svjetske populacije te će utjecaj na mobilnu industriju i njene korisnike biti velik.

## 6.1. 5G u Hrvatskoj

Glavni zadatak uvođenja 5G je efikasno pokrivanje cijelog područja Republike Hrvatske signalom te tako stimulirati gospodarski razvoj i osigurati svim građanima bolju kvalitetu života. Daljnjim razvijanjem i implementiranjem 5G mreže doći će do razvijanja digitalnih vještina, otvaranja novih radnih mjesta i novih mogućnosti korištenja tehnologije u svim industrijskim granama. Prema najavi OiV-a (Odašiljači i veze d.o.o) za novi datum početka prijelaza odabran je 27. listopada 2020. Prijelaz će trajati do 12. studenog 2020., a odvijati će se po digitalnim regijama [40].

Tri glavna operatera za 5G mrežu u Hrvatskoj su Hrvatski Telekom, A1 Hrvatska i Telemach Hrvatska, a Hrvatski Telekom prednjači u pokrivenosti. Za implementaciju 5G tehnologije u Republici Hrvatskoj korišteno je dinamičko dijeljenje spektra (*eng. Dynamic Spectrum Sharing - DSS*). DSS omogućuje operaterima korištenje istog radiofrekvencijskog spektra koji je korišten i za pružanje 4G (LTE) usluga i dijeljenje resursa između 5G i 4G tehnologije ovisno o prometnim potrebama korisnika. Uporaba DSS-a čini 5G tehnologiju raspoloživom krajnjim korisnicima i prije podjele radiofrekvencijskog spektra prvenstveno namijenjenog za 5G. Korištenjem DSS-a u 4G pojasevima pridonosi se bržem implementiranju 5G tehnologije. Planovi kojim se dodjeljuju radiofrekvencijski pojasevi 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz i 2600 MHz (NN br. 110/20) izmjenjeni su tako da dopuštaju upotrebu 5G tehnologije u DSS-a. Poslovni operateri sami će odabirati hoće li implementirati DSS tehnologiju te ako hoće, u kojim frekvencijskim pojasevima će ona biti implementirana [41].



## 7. ZAKLJUČAK

Peta generacija pokretnih mreža je novi globalni standard. U usporedbi sa prijašnjim generacijama 5G je brža, manjeg kašnjenja, omogućuje bolju povezanost ne samo ljudi već i strojeva, veći je kapacitet cjelokupne mreže, bolja je energetska učinkovitost itd.

Iako su se mnoge tehnologije 5G mreže koristile i prije individualno i u nekim drugim oblicima, spajanje tih tehnologija dovelo je do novog i boljeg sustava koji dovodi do poboljšanja života ljudi i gospodarstva zemalja. Zbog svoje mogućnosti povezivanja 5G će imati veliki utjecaj na poboljšanja u zdravstvu, prometu, obrazovanju, energetici, poljoprivredi i drugim gospodarskim djelatnostima.

Kako bi se odredila jakost, gustoć snage i SAR radiofrekvencijskog polja u blizini radiokomunikacijskih baznih koristi se EN HR 62232. Norma opisuje nekoliko metoda mjerenja i pritom ima smjernice koje objašnjavaju kako primjeniti pojedine metode te kako pravilno tumačiti i usporediti rezultate iz različitih metodologija ocjenjivanja.

Ono što čini 5G posebnu naspram prijašnjih generacija je to što zbog visokih frekvencija, 3D oblikovanja snopa, masivnog MIMO-a i ostalih korištenih tehnologija jakost signala u 5G mrežama se ne može mjeriti na standardne načine, tj. ne postoje mjerni instrumenti koji bi mogli izmjeriti jakost signala iznad 6 GHz.

5G nudi mnoga poboljšanja no nije bila dobro prihvaćena od strane ljudi zbog straha od štetnosti za ljudsko zdravlje no mjerenjima je dokazano da nema razloga za brigu ako se poštuju međunarodne preporuke za ograničenja razina elektromagnetskih polja. Uz to, frekvencijski pojasevi koji se trenutno upotrebljavaju za 5G su već bili korišteni za nepokretni bežični pristup i TV.

## LITERATURA

- [1] B. Burazer, *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije*, Hrvatski zavod za norme, 2014. Dostupno: <https://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EIS-Budu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf>
- [2] H. Liović, *Razvoj telekomunikacijskih mobilnih susatava*, Završni rad, 2019.
- [3] V. Vukelić, *Pokretne mreže pete generacije – Pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja*, Završni rad, 2016.
- [4] Venkat's blog (bez dat.), *Frequency spectrum (1G, 2G, 3G, 4G)* [Na internetu], Dostupno: <http://venkatsps.blogspot.com/2016/12/frequency-spectrum-1g-2g-3g-4g.html> [9.9.2021.]
- [5] M. Matijašević, *Sigurnosni zahtjevi i izazovi u 5G pokretnim mrežama*, Završni rad, 2018.
- [6] D. Fundak, *5G mobilni komunikacijski sustavi*, Završni rad, 2016.
- [7] J. Džaja, *Telekomunikacijski sustavi 5. generacije*, Diplomski rad, 2021.
- [8] M. M. Fabing, *Analiza razina zračenja baznih postaja i mobilnih uređaja*, Završni rad, 2020.
- [9] G. Hilson, *5G Needs More Memory to Compute* [Na internetu], 2019. Dostupno: <https://www.eetimes.com/5g-needs-more-memory-to-compute/> [10.9.2021.]
- [10] HAKOM (bez dat.), *5G mreža* [Na internetu], Dostupno: <https://www.hakom.hr/hr/5g-mreza/60> [11.9.2021.]
- [11] B. Čavara, *Određivanje lokacije korisnika korištenjem 5G tehnologije i satelitskih navigacijskih sustava*, Diplomski rad, 2019.
- [12] Europska komisija (bez dat.), *Što možemo očekivati od nove 5G tehnologije?* [Na internetu], Dostupno: [https://ec.europa.eu/croatia/content/what\\_can\\_we\\_expect\\_from\\_new\\_5G\\_technology\\_hr](https://ec.europa.eu/croatia/content/what_can_we_expect_from_new_5G_technology_hr) [10.9.2021.]
- [13] T. Musulin, *Sigurnost u radijskim mrežama pete generacije*, Diplomski rad, 2020.
- [14] M. Pokorni, *Utjecaj 5G tehnologije na poslovanje*, Diplomski rad, 2021.

- [15] World Health Organisation (bez dat.), *Radiation: 5G mobile networks and health* [Na internetu], Dostupno:<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-5g-mobile-networks-and-health> [11.9.2021.]
- [16] T. Mareković, *Mjerenje QoS-a i QoE-a za aplikacije i slučajeve uporabe u 5G mreži*, Diplomski rad, 2020.
- [17] J. Pehar, *Utjecaj 5G mreže na razvoj usluga inteligentnih transportnih sustava*, Završni rad, 2021.
- [18] T. Nguyen, *Small Cell Networks and the Evolution of 5G (Part 1)* [Na internetu], 2017., Dostupno:[Small Cell Networks and the Evolution of 5G - Qorvo](#) [14.9.2021.]
- [19] M. D. Jundhare, A. Kulkarni , *An overview and current development of femtocells in 5G technology* [Na internetu] ,2016., Dostupno:  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7942583>
- [20] 5GPPP Architecture Working Group, *View on 5G Architecture* [Na internetu], 2021., Dostupno:  
[https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2021/08/Architecture-WP-v4.0\\_forPublicConsultation.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2021/08/Architecture-WP-v4.0_forPublicConsultation.pdf)
- [21] D. Tahiri, *Uvođenje 5G mreža s osvrtom na pravni okvir*, Diplomski rad, 2020.
- [22] SDxCentral Studios, *What Is 5G Network Slicing?* [Na internetu], 2018., Dostupno:<https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-network-slicing/> [14.9.2021.]
- [23] VIAVI Solutions Inc. Inicio (bez dat.),*5G Network Slicing* [Na internetu], Dostupno:<https://www.viavisolutions.com/es-es/node/71717> [ 15.9.2021.]
- [24] poreština.info, *JE LI HRVATSKA ZEMLJA ZA ISPITIVANJE SIGURNOSTI 5G MREŽE U Hrvatskoj su granice zračenja veće i do 900 puta nego u Europi !?* [Na internetu], 2020., Dostupno:<https://porestina.info/je-li-hrvatska-zemlja-za-ispitivanje-sigurnosti-5g-mreze-u-hrvatskoj-su-granice-zracenja-vece-i-do-900-puta-nego-u-europi/-nego-u-europi/> [14.9.2021.]

- [25] ICNIRP (bez dat.), *5G Radiofrequency - RF EMF* [Na internetu], Dostupno: [https://www.icnirp.org/en/applications/5g/index.html?fbclid=IwAR2qhvzwx8fFVirr\\_gzzTAQmGM4Q\\_IXoCgTb38bh9Zn0f\\_entHEpQ38NHU](https://www.icnirp.org/en/applications/5g/index.html?fbclid=IwAR2qhvzwx8fFVirr_gzzTAQmGM4Q_IXoCgTb38bh9Zn0f_entHEpQ38NHU) [29.9.2021.]
- [26] HRN4You (bez dat.), *Hrvatski normativni dokument* [Na internetu], Dostupno: <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+62232%3A2018> [17.9.2021.]
- [27] P. Zollman, *Evaluating RF field strength and SAR from radio base station sources* [Na internetu], 2011., Dostupno: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/oth/06/4F/T064F0000030023PDFE.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/06/4F/T064F0000030023PDFE.pdf) [29.9.2021.]
- [28] H. Keller, *On the Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields Transmitted by 5G NR Base Stations* [Na internetu], 2019., Dostupno: [https://journals.lww.com/health-physics/fulltext/2019/11000/on\\_the\\_assessment\\_of\\_human\\_exposure\\_to.7.aspx?fbclid=IwAR0htClck2EoC8BMxIZU0JXQyNuVnK-CQrmOu0AOm7WnWrXlpj\\_Gjtv4bI#JCL-P-6](https://journals.lww.com/health-physics/fulltext/2019/11000/on_the_assessment_of_human_exposure_to.7.aspx?fbclid=IwAR0htClck2EoC8BMxIZU0JXQyNuVnK-CQrmOu0AOm7WnWrXlpj_Gjtv4bI#JCL-P-6) [30.9.2021.]
- [29] R. Pawlak, P. Krawiec, J. Żurek, *On Measuring Electromagnetic Fields in 5G Technology* [Na internetu], 2019., Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8660395> [29.9.2021.]
- [30] HAKOM (bez dat.), *Tehnologija* [Na internetu], Dostupno: <https://www.hakom.hr/hr/tehnologija-386/386> [11.9.2021.]
- [31] HAKOM (bez dat.), *Utjecaj EM polja* [Na internetu], Dostupno: <https://www.hakom.hr/hr/utjecaj-em-polja-398/398> [15.9.2021.]
- [32] S. Aerts, L. Verloock, M. Van Den Bossche, D. Colombi, L. Martens, C. Törnevik, W. Joseph, *In-situ Measurement Methodology for the Assessment of 5G NR Massive MIMO Base*

*Station Exposure at Sub-6 GHz Frequencies* [Na internetu], 2019., Dostupno: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8937514> [28.9.2021.]

[33] HAKOM, *MJERENJA VELIČINA ELEKTROMAGNETSKOG POLJA U GRADU OSIJEKU* [Na internetu], 2020., Dostupno: [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2020/radiokomunikacije/Mjerenja\\_HAKOM\\_5G\\_20200721\\_final.pdf?vel=1943134](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2020/radiokomunikacije/Mjerenja_HAKOM_5G_20200721_final.pdf?vel=1943134) [15.9.2021.]

[34] European 5G Observatory (bez dat.), *Announcements of commercial launches* [Na internetu], Dostupno: <https://5gobservatory.eu/market-developments/5g-services/> [17.9.2021.]

[35] Perf, *5G karta pokrivenosti širom svijeta* [Na internetu], Dostupno: <https://www.nperf.com/hr/map/5g#howToAnchor> [17.9.2021.]

[36] B.Fogg, *5G Australia: Everything you need to know* [Na internetu], 2021., Dostupno: <https://www.reviews.org/au/internet/5g-australia/> [17.9.2021.]

[37] C. Sbeglia, *Where does Japan stand in deploying 5G?* [Na internetu], 2021., Dostupno: <https://www.rcrwireless.com/20210316/5g/where-does-japan-stand-in-deploying-5g> [17.9.2021.]

[38] <https://www.statista.com/chart/24771/cities-with-the-fastest-5g-download-speeds-globally/>  
(Pristupljeno: 17.9.2021.)

[39] Statista, *The Cities With The Fastest 5G Speeds* [Na internetu], 2021., Dostupno: <https://www.opensignal.com/2021/02/03/benchmarking-the-global-5g-experience> [17.9.2021.]

[40] HAKOM (bez dat.), *RH strategija* [Na internetu], Dostupno: <https://www.hakom.hr/hr/rh-strategija-390/390> [17.9.2021.]

[41] HAKOM (bez dat.), *5G mreža u Hrvatskoj* [Na internetu],  
Dostupno:<https://www.hakom.hr/hr/5g-mreza-u-hrvatskoj/392> [17.9.2021.]

## SAŽETAK

Peta generacija pokretnih mreža postala je stvarnost. 5G nudi veće brzine, bolju povezanost i pokrivenost u usporedbi sa prijašnjim generacijama pokretnih mreža. Ovaj završni rad opisuje razvoj pokretnih mreža, od prve generacije do pete generacije, s fokusom na 5G mrežu. Opisana je arhitektura 5G mreže, HR EN 62232, kako izmjeriti zračenje 5G mreže, što 5G mrežu čini specifičnom i trenutno stanje 5G u svijetu i Hrvatskoj.

Ključne riječi: 5G mreže, telekomunikacijski sustavi, mjerenje

## ABSTRACT

The fifth generation of mobile networks has become a reality. 5G offers higher speeds, better connectivity and coverage compared to previous generations of mobile networks. This final paper describes the development of mobile networks, from the first generation to the fifth generation, with a focus on the 5G network. The architecture of the 5G network, HR EN 62232, how to measure the radiation of the 5G network, what makes the 5G network specific and the current state of 5G in the world and in Croatia are described.

Keywords: 5G networks, telecommunication systems, measuring