

# Obilježja pokretnih komunikacijskih mreža pete generacije

---

Đurašinović, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:178769>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet informatike u Puli

**LUKA ĐURAŠINOVIĆ**

**OBILJEŽJA POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA PETE GENERACIJE**

Završni rad

Pula, \_\_\_\_13.09.\_\_\_, \_2021.\_\_\_ godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet informatike u Puli

**LUKA ĐURAŠINOVIĆ**

**OBILJEŽJA POKRETNIH KOMUNIKACIJSKIH MREŽA PETE GENERACIJE**

Završni rad

**JMBAG: 0069064282, redoviti student**  
**Studijski smjer: Informatika**  
**Kolegij: Računalne mreže**  
**Znanstveno područje: Društvene znanosti**  
**Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti**  
**Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija**  
**Mentor: prof.dr.sc Mario Radovan**

Pula, \_\_\_13.09.\_\_\_\_, \_\_2021.\_\_ godine



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani **Luka Đurašinović**, kandidat za **prvostupnika informatike** ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

---

U Puli, \_\_\_\_\_ 13.09.2021.



## **IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA**

Ja, **Luka Đurašinović** dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom

---

**“Obilježja pokretnih komunikacijskih mreža pete generacije“**

---

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 13.09.2021.

Potpis

---

## Sažetak

Tema ovog rada bila je pobliže objasniti sve principe rada pokretnih komunikacijskih mreža pete generacije odnosno 5G mobilnih mreža kao i njen utjecaj na društvo. Kroz povijesni pregled prijašnjih generacija mobilnih mreža, te kroz tehnološke karakteristike same 5G mreže i usluga koje pruža prikazan je značaj ulaganja u ovu vrstu tehnologije. Također, sagledana je i strategija Republike Hrvatske prema uvođenju 5G mreža kao i eventualni rizici po sigurnost i zdravlje stanovništva zbog uvođenja 5G mreža.

Ključne riječi: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, masivni MIMO, Beamforming, Bazna stanica, male ćelije, MHz, GHz, radiofrekvencijski spektar, signal, podaci, brzina, latencija, zračenje

## Summary

The topic of this paper was to thoroughly explain all the principles of operation in 5G mobile networks as well as its impact on society. Through historical overview of previous generations of mobile networks and through technological characteristics of 5G network and services it provides - the importance of investing in this type of technology is shown. Also, the strategy of the Republic of Croatia towards the introduction of 5G networks was also considered in this paper, as well as possible risks to safety and health of people due to introduction of 5G networks.

Keywords: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, massive MIMO, beamforming, base station, small cells, MHz, GHz, spectre, signal, data, speed, latency, radiation

## Sadržaj:

1. Uvod .....	1
2. Općenito o mobilnim komunikacijskim mrežama.....	2
3. Povijesni pregled .....	6
3.1. 1G mreža i prvi mobilni telefon.....	6
3.2. 2G mreža .....	8
3.3. 3G mreža .....	9
3.4. 4G mreža .....	11
4. Peta generacija mobilnih komunikacijskih mreža (5G).....	14
4.1. Opći podaci i osnovne specifikacije .....	14
4.2. Radiofrekvencijski pojasevi 5G mreže i milimetarski valovi.....	17
4.3. Dijeljenje radiofrekvencijskog spektra .....	18
4.4. Masivni MIMO i Beamforming.....	20
4.5. Male ćelije .....	21
5. Usluge i koristi 5G mreža.....	24
6. Implementacija i korištenje 5G mreže u Republici Hrvatskoj .....	27
7. Potencijalni sigurnosni i zdravstveni rizici implementacije 5G mreže .....	30
7.1. Sigurnost .....	30
7.2. Zdravstveni rizici .....	31
8. Zaključak .....	34
9. Literatura .....	35
Popis kratica .....	39

## 1. Uvod

U današnje vrijeme kada velika većina svjetske populacije posjeduje pametni telefon, laptop, tablet ili slični prijenosni uređaj javlja se potreba za stalnim pristupom mreži (Internetu) kako bi korisnici bili u toku sa svim svjetskim novostima, kako bi mogli obavljati poslove na daljinu ili održavati stalni kontakt s prijateljima i obitelji. Pritom korisnici nemaju uvijek omogućen pristup bežičnoj Wi-fi mreži, ali se gotovo svugdje u svijetu mogu koristiti usluge pristupa podatkovnom prometu mobilnih mreža lokalnih operatera, odnosno pružatelja telekomunikacijskih usluga.

S razvojem samih uređaja, pojavom novih internetskih tehnologija i povećanjem samog broja korisnika, stvorila se i potreba za stalnim unaprjeđivanjem i razvojem pokretnih komunikacijskih mreža (tzv. "G-mreža"). Sa svakom svojom novom generacijom povećavala se razina stabilnosti, sigurnosti, propusnosti podataka i brzine prijenosa u mobilnim mrežama, te smo tako danas došli do pete generacije mobilnih mreža tj. 5G mreže.

U nastavku ovoga rada objasniti ću detaljnije sam pojam mobilnih komunikacijskih mreža i tog načina prijenosa podataka. Prikazat ću i povijesni pregled razvoja mobilnih mreža (od 1G do 5G), kao i usporediti njihove osnovne karakteristike i tehnologije koje su se koristile u svakoj od generacija.

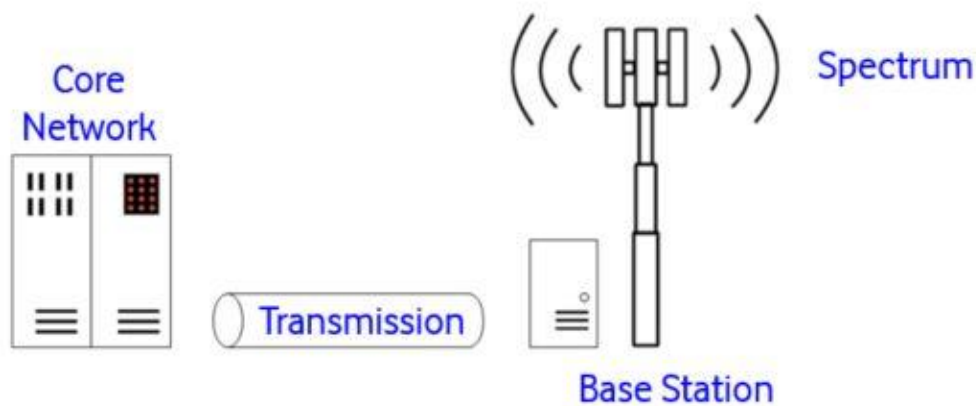
Fokus ovoga rada svakako je na posljednjoj generaciji mobilnih mreža, odnosno na 5G mreži. Oko uvođenja i širenja dostupnosti 5G mreža vodi se dosta polemika u medijima od strane stručnjaka u području mobilnih komunikacijskih tehnologija, kao i šireg - manje stručnog puka. Iz tog razloga, osim samih tehničkih karakteristika i dobrobiti 5G mreža, dotaknuti ću se i određenih kontroverzi na temu uvođenja 5G mreže, a to je njen eventualni utjecaj na ljudsko zdravlje. Također, u nastavku rada pokušat ću opovrgnuti ili potvrditi te "mitove" o većoj štetnosti korištenja i uvođenja 5G mreža naspram mobilnih mreža prethodnih generacija.



## 2. Općenito o mobilnim komunikacijskim mrežama

Osnovni uređaj za uspješno i smisljeno funkcioniranje mobilnih komunikacijskih mreža svakako je mobilni uređaj tj. mobitel. Iako danas funkciju mobilnih komunikacijskih mreža koriste i brojni drugi uređaji koji rade na sličnom principu kao i mobilni uređaji ili imitiraju rad istih (npr. prijenosna računala i tableti), mobiteli i dalje ostaju primarni uređaji koji koriste i omogućavaju usluge mobilnih komunikacijskih mreža.

Mobilni uređaj pritom je „dvosmjerni radio“, odnosno omogućava istovremeno slanje signala prema baznim stanicama i primanje signala od istih (Slika 1).



Slika 1 - Prikaz odašiljanja signala od strane bazne stanice, preuzeto sa URL:  
<https://www.vodafone.com.au/red-wire/demystifying-mobile-networks>

Bazne stanice najčešće su sastavljene od

- **antena** → šalju i primaju signale od strane korisnika
- **tornjeva ili sličnih potpornih struktura** → mjesta na kojima se nalaze same antene

- **elektroničke opreme** → najčešće smještena u specijaliziranu kabinu ili prostoriju, a služi kako bi obavljala potrebne operacije za samu baznu stanicu
- **transmitter** → kablovi, optička vlakna ili bežičan oblik prijenosa koji povezuje baznu stanicu s glavnom mrežom pružatelja mobilnih usluga (mobilnom centralom)

Postupak slanja i prijema signala od mobilnog uređaja prema baznoj stanici i obratno može se opisati na sljedeći način:

1. Bazna stanica komunicira s mobilnim uređajem koji potom šalje svoj radio signal na samu antenu
2. Signal putuje od vrha antene niz toranj do kabine gdje je smještena elektronička oprema
3. Elektronička oprema procesira signal i odlučuje gdje će ga potom poslati
4. Signal se šalje prema glavnoj mreži (centrali) željenog pružatelja usluga koji potom upravlja vezama među samim korisnicima (preusmjerava pozive) i omogućava korisnicima pristup internetu

Lokacija baznih stanica uvjetovana je s više čimbenika, od kojih su najvažniji fizičke prepreke (stabla, zgrade, planine), broj korisnika u užem i širem području bazne stanice, te sama radio frekvencija koju će bazna stanica koristiti (tzv. radiofrekvencijski spektar).

Radiofrekvencijski spektar koji će bazna stanica koristiti ovisi ponajviše o tome gdje je ista smještena te koja joj je primarna namjera. Raspon spektara kreće se najčešće od 800 do 2600 MHz (Hakom, poziv literature), iako on može biti i znatno veći. Pritom niži spektar (ispod 1000 MHz) se najčešće koristi u velikim urbanim područjima kako bi se pružila područno što veća dostupnost usluge i kako bi se što lakše „probile“ terenske zapreke u slanju i primanju signala (npr. građevine), dok srednji i viši spektar frekvencija (1800+

MHz) pružaj manju pokrivenost signalom i koriste se u manje urbanim područjima kako bi se postigla što veća brzina i kvaliteta usluge (brzina interneta i kvaliteta poziva).

Drugim riječima može se reći da svaki radiofrekvencijski spektar ima svoje prednosti i mane, a ovisno o namjeni, te geografskim i demografskim uvjetima u blizini bazne stanice, odlučuje se koji će frekvencijski raspon pojedina bazna stanica koristiti (Slika 2).



*Slika 2 - Prikaz probojnosti signala različitih frekvencijskih raspona, preuzeto sa URL: <https://www.t-mobile.com/business/resources/articles/benefits-of-the-5g-spectrum-for-businesses>*

Svaka bazna stanica ima jasno definiran doseg odašiljanja i primanja signala, te broj uređaja s kojima može komunicirati istovremeno. Iz tog razloga najčešće se postavlja više baznih stanica na užem području pri čemu svaka radi na svom radiofrekvencijskom spektru kako ne bi došlo do međusobnog ometanja (interferencije) signala. Tako se omogućava stalni pristup mreži, odnosno izbjegava se zagušenje ili potpuni pad mreža mobilnih operatera uslijed perioda povećane ljudske aktivnosti (festivali, blagdani, praznici, etc.). Područje djelovanja pojedine bazne stanice naziva se „ćelija“ [3].

Naravno, više različitih baznih stanica može koristiti isti radiofrekvencijski spektar, ali pritom one moraju biti na dovoljnoj fizičkoj tj. geografskoj razdaljini jedna od druge.

Bitno je naglasiti da su frekvencije rada mobilnih mreža strogo ograničene i definirane od strane za to zaduženih tijela, te moraju biti usklađene sa sveukupnom podjelom radio spektra u određenoj zemlji. U Hrvatskoj podjelu i definiranje korištenog radiofrekvencijskog spektra određuje „Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti“ (HAKOM, Slika 3).



*Slika 3 - Službeni logo HAKOM-a, preuzeto sa URL: <https://www.hakom.hr/>*

### 3. Povijesni pregled

#### 3.1. 1G mreža i prvi mobilni telefon

Iako je razvoj prve generacije mobilnih mreža krenuo još početkom 70-ih godina prošloga stoljeća, prvi komercijalni mobilni komunikacijski sustav na svijetu razvijen je i krenuo je s radom 1979. godine u Tokiju od tvrtke „Nippon Telegraph and Telephone (NTT)“.

Nakon Japana iduće zemlje koje su omogućile korištenje 1G mreže bile su skandinavske zemlje, odnosno Danska, Finska, Norveška i Švedska, 1981. godine.

Prva komercijalna 1G mreža u SAD-u puštena je u rad tek 1983. godine. Iste te godine pojavio se prvi komercijalni mobilni telefon u slobodnoj prodaji imena „Motorola DynaTAC“ (Slika 4), razvijen od američke tvrtke „Motorola, Inc.“.



Slika 4 - Motorola DynaTAC, preuzeto sa URL: <https://picclick.com/Motorola-Dynatac-8000X-Usa-First-Brick-Cell-393134497374.html>

Usprkos ogromnoj cijeni od skoro 4000 \$ (što bi približno iznosilo 10,000 \$ po današnjoj vrijednosti dolara), Motorola DynaTAC se prodala u približno 20 milijuna primjeraka do 1990. godine [12].

Što se samih karakteristika 1G mreže tiče, glavno obilježje iste je da se prijenos signala obavljao analogno, za razliku od mreža kasnijih generacija gdje se signal obavezno pretvarao u digitalni (i obratno).

S obzirom na ograničene tehnološke mogućnosti, 1G mreža omogućavala je isključivo obavljanje glasovnih poziva i to samo ako se oba mobilna uređaja u trenutku upućivanja poziva nalaze unutar iste zemlje.

1G mreža koristila je više različitih definiranih standarda korištenja koji su ponajviše ovisili o geografskom smještaju same mreže, odnosno u kojoj zemlji se ona koristi. Najpoznatiji i najvažniji standardi tog doba bili su sljedeći:

- **AMPS** („Advanced Mobile Phone System“) → SAD i Rusija
- **NMT** („Nordic Mobile Telephone“) → Danska, Finska, Norveška i Švedska
- **TACS** („Total Access Communication System“) → Ujedinjeno Kraljevstvo

1G mreža zbog svojih tehnoloških ograničenja nije omogućavala nikakav prijenos podataka, iako je njena deklarirana brzina prijenosa iznosila 2.4kbps.

Iako je 1G mreža bila revolucionarna za to doba, patila je brojnih problema i nedostataka:

- loša audio kvaliteta poziva
- pucanje veza
- ograničenost poziva samo na određeno područje
- ograničena količina korisnika
- loša sigurnost poziva (laka mogućnost presretanja i prisluškivanja poziva)

Iz tog razloga, odmah po puštanju u promet prvih 1G mreža počeo je paralelni razvoj novih mreža kako bi se došlo do značajnijeg tehnološkog napretka, ponajviše u načinu prijenosa signala. Isto je naposljetku dovelo do pojave mreža druge generacije, tj. 2G mreža.

### **3.2. 2G mreža**

2G mreža radila je na čuvenom GSM standardu koji je i danas jedan od najrasprostranjenijih i najpoznatijih standarda telekomunikacijskih mreža u svijetu. Prva komercijalna 2G mreža puštena je u rad u Finskoj 1991. godine.

2G mreža bila je znatno naprednija od 1G mreže, te je uvela brojne novine u tehnologiji i radu same mreže, kao i u mogućnostima tadašnjih mobilnih uređaja. Najvažnija novina bila je korištenje digitalnog signala tj. pretvorba analognog signala u digitalni i obratno, za razliku od 1G mreže koja je koristila isključivo analogni signal. Uvođenje digitalnog signala znatno je poboljšalo sigurnost same mreže i poziva koji se obavljaju preko nje, odnosno neželjeno prisluškivanje poziva postalo je puno teže, a i sama kvaliteta poziva bila je znatno bolja nego dotad.

Zbog izrazito viših brzina prijenosa podataka koje su do kraja ere 2G mreža narasle i do 500 kbps pojavile su se i nove usluge mobilnih operatera, a to su bile SMS i MMS poruke. SMS i MMS poruke zapravo označavaju početak korištenja podatkovne brzine mobilnih mreža pošto su se te poruke slale u obliku "podatkovnih paketa" od mobilnog uređaja pošiljatelja do bazne stanice i potom preko operatera do mobilnog uređaja primatelja.

Do kraja svoje ere 2G mreža je doživjela još dvije značajne nadogradnje, prva je korištenje GPRS ("Global Packet Radio System") standarda koji je dodatno povećao brzine 2G mreže (na oko 120 kbps). Korištenje GPRS standarda naziva se još i 2.5G mrežom. Na samom kraju ere 2G pojavio se i EDGE standard ("Enhanced Data Rates for GSM Evolution") koji je postojeće brzine dodatno podigao na prethodno navedenih 500 kbps. Korištenje EDGE standarda naziva se još i 2.75G mrežom, te je posljednji iskorak prema nešto kasnijem uvođenju 3G mreže.

Osim značajnih napredaka u samoj tehnologiji mreža, u vrijeme korištenja 2G mreže u prodaju su pušteni neki od najpoznatijih i najprodavanijih mobilnih uređaja svih vremena kao što je “Nokia 3210” (Slika 5) koja je prodana u preko 160 milijuna primjeraka diljem svijeta.



Slika 5 - Nokia 3210, preuzeto sa URL: <https://mob.hr/nokia-150-godina-inovacija/3/>

### 3.3. 3G mreža

Sve veći razvoj funkcionalnosti interneta i porast broja korisnika kućnog interneta krajem 20. stoljeća nagnao je mobilne operatere širom svijeta da dodatno razvijaju i unaprjeđuju dotadašnju 2G tehnologiju kako bi se internetu moglo jednako kvalitetno pristupiti i s mobilnih uređaja. To je naposljetku dovelo do razvitka i puštanja u rad nove generacije mobilnih mreža - 3G mreže.

Prva komercijalna 3G mreža puštena je u rad 2001. godine u Japanu od tvrtke “NTT DoCoMo”, podružnice tvrtke koja je pustila u rad prvu 1G mrežu u povijesti.



3G mreža koristila je novi UMTS (“Universal Mobile Telecommunication Systems”) standard koji je bio direktna nadogradnja na prethodni GSM odnosno GPRS standard (stoga ga se često naziva i GSM3). UMTS standard često se naziva i W-CDMA standardom.

U većini zemalja 3G mreža koristila je potpuno drugačiji radiofrekvencijski spektar od 2G mreža što je najčešće zahtijevalo i izgradnju potpuno nove mrežne infrastrukture te otkup prava za nove frekvencije što je vremenski dosta usporilo i otežalo uvođenje 3G mreže diljem svijeta [1].

U vrijeme 3G mreža pojavile su se i tzv. “roaming usluge”, odnosno naplaćivanje međunarodnog prometa po posebnim tarifama od strane mobilnih operatera. Razlog tomu je što se uz pomoć 3G mreže po prvi put moglo pristupiti velikim količinama podataka s bilo kojeg mjesta u svijetu, koje je naravno pritom imalo pokrivenost 3G mrežom.

U vrijeme pojave 3G mreže kućni internet se sve više koristio za video pozive (npr. Skype), slušanje glazbe ili pregledavanje video sadržaja, a pregledavanje internetskih stranica te primanje i slanje mailova postalo je sastavni dio svakog novog mobilnog uređaja (pojava prvih “pametnih telefona”). Iz tog razloga 3G je već po samom izlasku podržavao nešto više brzine prijenosa podataka (144+ kbps), a s vremenom razvitkom novih standarda i tehnologija kao što su HSDPA (“High-Speed Downlink Packet Access”) i HSUPA (“High-Speed Uplink Packet Access”), te brzine penjale su se i do 2 Mbps. Zbog tog izrazitog napretka u brzini, mreže koje su koristile ta dva standarda često su se nazivale i 3.5G mrežama.

### 3.4. 4G mreža

Prva komercijalna 4G mreža puštena je u rad krajem 2009. godine u Norveškoj. Uz prijelaz s analognog na digitalni signal (1G → 2G), prijelaz s 3G mreže na 4G mrežu bio je uvjerljivo najveći i najosjetniji tehnološki pomak u performansama i kvaliteti mobilnih komunikacijskih mreža.

S obzirom na to da se do pojave prvih 4G mreža tržište pametnih telefona znatno proširilo te su uređaji polako postajali prava “računala na dlanu” kakva danas poznajemo, 4G mreža zahtijevala je znatno stabilniji i brži prijenos podataka te veću jačinu signala od 3G mreže. Potreba za većim brzinama i kvalitetnijom mrežnom uslugom ponajviše je dolazila iz eksponencijalnog porasta broja korisnika interneta i pametnih telefona, kao i s porašću veličine i kompleksnosti sadržaja koje je korisnik pregledavao, preuzimao i postavljao na internet putem svojih mobilnih uređaja (YouTube videa, društvene mreže, uploadanje sadržaja, streamanje sadržaja, etc.).

4G mreža radila je prema novom LTE (“Long Term Evolution”) standardu koji je postizao znatno više brzine od UMTS standarda korištenog kod 3G mreža, ali je pritom imao i nešto veće “sistemske zahtjeve” koji su se ticali samog korisnika od mreža prethodnih generacija. Naime, kada je neki mobilni uređaj htio koristiti mrežu nove generacije (primjerice prijeći s korištenja 2G mreže na 3G mrežu), isti je morao samo promijeniti svoju SIM karticu, a ukoliko je korisnik želio koristiti 4G mrežu najčešće je morao kupovati potpuno novi mobilni uređaj, s obzirom na to da je 4G mreža zahtijevala i hardversku podršku od samog mobilnog uređaja.

Iako je prethodno navedeno da je prva 4G mreža puštena u rad u Norveškoj 2009. godine, to je ustvari samo teoretski ili približno točno. Točnije bi bilo tu mrežu nazvati 3.95G mrežom nego 4G mrežom s obzirom na to da ona još uvijek nije iskoristavala puni potencijal LTE standarda i nije dosegala brzine propisane od ITU-R (International Telecommunications Union-Radio communications sector) organizacije koja je definirala da se mreža može smatrati 4G mrežom ako doseže brzinu od barem 12.5 Mbit/s, dok bi

joj maksimalna brzina (u teoriji) trebala biti 1 Gbit/s. Stabilne brzine iznad donje granice ostvaruju se tek 2011. godine s novim LTE-A ("Long Term Evolution Advanced") standardom. Iz tog razloga prvotne 4G mreže (prije 2011.) najčešće se nazivaju "4G" mrežama, dok su "prave" 4G mreže one koje nose oznaku "4G-LTE".

Iako je za uspješno korištenje od strane krajnjih korisnika zahtijevala najčešće kupnju novog mobilnog uređaja što ju je u očima korisnika činilo najskupljom generacijom mobilnih mreža dotad, samo infrastrukturno uvođenje 4G mreže bilo je znatno jeftinije od 3G mreža zato što se 4G mreža mogla jednostavno "nadograditi" na već postojeću mrežnu infrastrukturu, a najčešće nije bilo niti potrebe za proširivanjem i otkupom novog dijela radiofrekvencijskog spektra.

Značajno za četvrtu generaciju mobilnih mreža prestanak je korištenja kanala, terminala i čvorova koji se zamjenjuju uvođenjem mobilnih IP mreža i adresa [1].

Na donjem prikazu (Slika 6) možemo vidjeti usporedbu osnovnih karakteristika sve 4 generacije mobilnih komunikacijskih mreža.

<b>Technologies / Features</b>	<b>1G</b>	<b>2G/2.5G</b>	<b>3G</b>	<b>4G</b>
Evolution	1970	1980	1990	2000
Deployment	1984	1999	2002	2010
Data Rate	2 kbps	14.4-64 kbps	2 Mbps	200 Mbps to 1 Gbps for low mobility
Famous Standards	AMPS	2G: GSM, CDMA 2.5G: GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000	LTE, WiMAX
Technology behind	Analog cellular technology	Digital cellular technology	Broad bandwidth CDMA, IP technology	Undefined IP and seamless combination of broadband. LAN/WAN/PAN/WLAN
Service	Voice	2G: Digital Voice, SMS 2.5G: Voice+Data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic information access, wearable devices
Multiplexing Type of Switching	FDMA Circuit	TDMA, CDMA 2G: Circuit 2.5G: Circuit and packet	CDMA Packet	CDMA Packet
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal and Vertical
Core Network	PSTN	PSTN	Packet network	Internet

*Slika 6 - Prikaz osnovnih karakteristika prve četiri generacije mobilnih mreža, preuzeto sa URL: [https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-1G-2G-3G-4G-5G-11\\_tbl1\\_311795558](https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-1G-2G-3G-4G-5G-11_tbl1_311795558)*

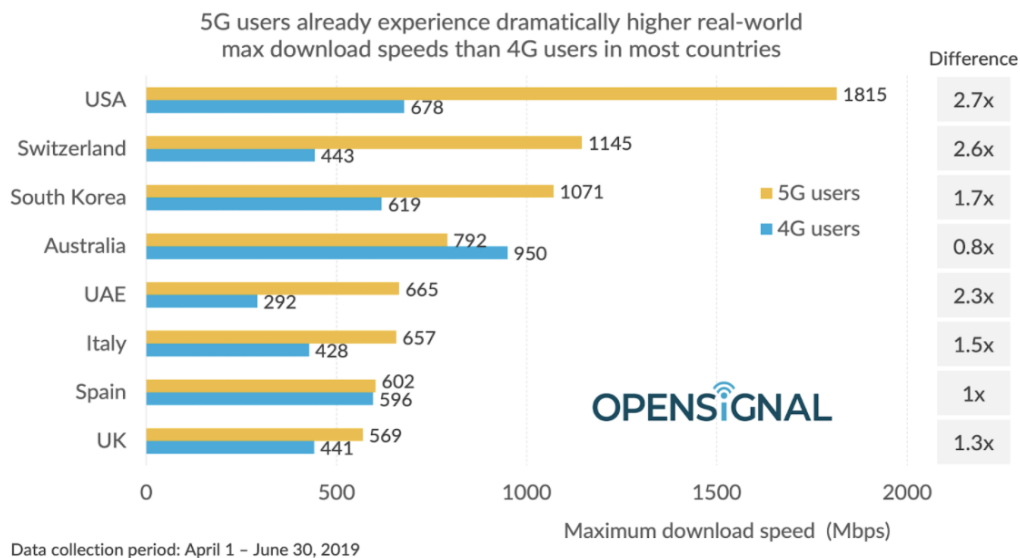
## 4. Peta generacija mobilnih komunikacijskih mreža (5G)

### 4.1. Opći podaci i osnovne specifikacije

U trenutku pisanja ovog rada u mnogim zemljama svijeta niti pokrivenost 4G mrežom nije dosegla željene brojke, tako npr. u Velikoj Britaniji u 2021. godini stalan i stabilan pristup brzinama 4G mreže ima tek oko 53% stanovništva [14], a u nekim slabije razvijenim zemljama situacija je još lošija. Ipak, već tijekom 2015. godine počelo je istraživanje i rad na mobilnoj mreži nove generacije tj. 5G mreži. Iako tada još niti 4G mreža nije stigla u sve dijelove svijeta i bila je relativno nova tehnologija, razvitak svih drugih oblika tehnologije i potreba za korištenjem istih u praktički svim sferama svakodnevnog života nagnala je stručnjake da paralelno s uvođenjem 4G mreže razvijaju još bolju i napredniju mrežu iduće generacije.

Tri godine istraživanja i “pripremanja terena” dovelo je naposljetku do puštanja u rad prve 5G mreže na svijetu u ožujku 2019. godine u Južnoj Koreji.

Naravno, primarna i prosječnom korisniku najvidljivija razlika između 4G i 5G mreže je sama brzina. Dok najveća teoretska brzina preuzimanja podataka putem 4G mreže iznosi oko 1 Gbps, njena realna brzina iznosi otprilike 300 Mbps, a trenutno deklarirana maksimalna teoretska brzina preuzimanja putem 5G mreže je nevjerojatnih 20 Gbps. Ipak, 5G mreža najvjerojatnije nikad neće dosegnuti svoju teoretsku maksimalnu brzinu, ali realno je za očekivati da će stvarna brzina preuzimanja podataka 5G mrežom iznositi između 2.5 i 3 Gbps nakon što se ostvare uvjeti za to. Trenutna maksimalna izmjerena brzina 5G mreže ostvarena u stvarnom okruženju iznosi oko 1.8 Gbps (Slika 7) [15].



Slika 7 - Usporedba brzina 4G i 5G mreža u više svjetskih zemalja 2019. godine, preuzeto sa URL: <https://www.opensignal.com/2019/07/08/5g-boosts-the-maximum-real-world-download-speed-by-up-to-27-times-4g-users-top-speeds>

Osim samih brzina veliki pomak kod 5G mreža vidljiv je i u latenciji, odnosno vremenu koje protekne od trenutka zahtjeva za određenim podacima do trenutka kada se ti podaci prime. Kod 4G mreža prosječna latencija iznosila je oko 50 ms, dok kod 5G mreže prosječna latencija iznosi svega 10 ms, a očekuje se da će se u budućnosti ona spustiti i na vrijeme od svega 1 ms.

5G mreža također koristi i novi standard, tzv. "5G NR" (5G New Radio). Navedeni standard dobio je ime po tome što 5G mreža koristi znatno širi radiofrekvencijski spektar od svih prethodnih generacija mobilnih komunikacijskih mreža. Frekvencijski spektar 4G mreža kretao se do visine od 6GHz, dok kod 5G mreža spektar se proširuje i do 39GHz. Razlog potrebe za višim spektrom može se pronaći u glavnim primjenama i namjenama same mreže, a to su svakako izrazito više brzine prijenosa podataka, kao i želja za pokrivenošću što većeg broj korisnika. Ipak, glavni razlog za potrebom korištenja tako visokog spektra krije se u tehnološkoj strani same mreže, tj. nekim novim tehnologijama koje 5G mreža koristi o čemu će biti više govora u nastavku rada.

Zbog korištenja tako velikog radiofrekvencijskog pojasa 5G mreža zahtijeva izgradnju potpuno nove mrežne infrastrukture na mjestima gdje se postavlja, ali ne samo to već zahtijeva i novu generaciju mobilnih uređaja koji hardverski podržavaju pristup 5G mreži. Prvi mobilni uređaj s mogućnošću pristupa 5G mreži bio je Samsung Galaxy S10 5G (Slika 8) koji je izašao u ožujku 2019. godine,



*Slika 8 - Samsung Galaxy S10 5G, preuzeto sa URL:*

*[https://www.gsmarena.com/samsung\\_galaxy\\_s10\\_5g-pictures-9588.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s10_5g-pictures-9588.php)*

Zbog potrebe za izgradnjom potpuno nove mrežne infrastrukture, kao i zbog potrebe za kupnjom novih mobilnih uređaja jasno je da je peta generacija mobilnih telekomunikacijskih mreža ujedno i najskuplja generacija. Stoga, nije čudno da uvođenje 5G mreže teče izrazito sporo u većini dijelova svijeta, te da skoro tri godine nakon puštanja u rad prve 5G mreže i dalje na tržištu uvjerljivo prevladava korištenje 4G mreže, a s obzirom na to da čak i s njenom distribucijom ponegdje postoje problemi, u tim trenucima korisnici se moraju zadovoljiti i s uslugama već ozbiljno zastarjele 3G mreže.

#### 4.2. Radiofrekvencijski pojasevi 5G mreže i milimetarski valovi

5G mreže koriste daleko najširi radiofrekvencijski spektar od svih dosadašnjih generacija mobilnih mreža. Spektre 5G mreža možemo podijeliti na sljedeći način:

- **Niski spektar** 5G mreža koristi frekvencije do 2 GHz. U njima 5G mreža postiže brzine slične brzinama 4G mreže ili neznatno više brzine.
- **Srednji spektar** 5G mreža koristi frekvencije od 2 GHz do 10 GHz. Očekuje se da će upravo ovaj spektar frekvencija biti najčešće korišten za rad 5G mreže pošto pruža dobar balans između brzina prijenosa i dosega pokrivenosti signalom same mreže.
- **Visoki spektar** 5G mreža koristi frekvencije iznad 24 GHz. Ove frekvencije rade na tzv. „milimetarskim valovima“, te na njima 5G mreža postiže svoj puni potencijal tj. doseže svoje najviše brzine pritom imajući najniže latencije.

Spektar kojem se najčešće teži i koji bi se trebao koristiti za postizanje maksimalne učinkovitosti 5G mreža svakako je spektar visokih frekvencija. Ipak, implementacija tog spektra je izrazito problematična s obzirom na to da frekvencije u tom spektru imaju izrazito mali domet, te nemaju visoku razinu penetrabilnosti kroz prostorne zapreke. Usto, frekvencijama u ovom spektru vrlo često smetaju i loši vremenski uvjeti što je dodatno ograničenje za šire uvođenje i učestalo korištenje 5G mreže u ovom spektru.

Korištenje visokoga spektra ujedno je i razlog potrebe za izgradnjom potpuno nove mrežne infrastrukture za korištenje 5G mreža. Razlog tome je što tako visoke frekvencije koriste milimetarske valove za rad koji pak zahtijevaju postavljanje posebnih mikro, piko i femto ćelija kako bi signal lakše stizao do krajnjih korisnika. Kada bi 5G mreža radila isključivo u svom niskom i srednjem spektru frekvencija izgradnja nove mrežne infrastrukture najvjerojatnije ne bi bila potrebna, pošto je korištenje tih frekvencijskih pojaseva moguće već sa trenutnom infrastrukturom 4G mreža.



Kako bi se osjetila stvarna razlika između tehnologije 4G mreža i 5G mreža, mogućnost korištenja spektra milimetarskih valova je svakako potrebna i poželjna, a i donosi brojne već navedene prednosti 5G mreže koje u ostala dva spektra nisu toliko osjetne. Neke od tih prednosti su [1]:

- mogućnost prijenosa veće količine podataka odjednom
- znatno veće brzine prijenosa podataka
- veća razina sigurnosti prijenosa podataka
- izrazito niska latencija (1ms)
- oslobodjenje postojećeg frekvencijskog spektra i izbjegavanje zagušenja

#### **4.3. Dijeljenje radiofrekvencijskog spektra**

Od svih prethodno navedenih prednosti korištenja spektra milimetarskih valova, možda i najvažnija je posljednja, najmanje “osjetna” stavka - oslobodjenje postojećeg frekvencijskog spektra i izbjegavanje zagušenja.

S obzirom na ekstremni porast u broju mobilnih uređaja, operatera i različitih tipova korisnika, postojeći spektar radijskih frekvencija postaje sve manji i zagušeniji. Stoga znatno proširenje tog spektra prelaskom na 5G mreže omogućiti će “lakše disanje” samoj mreži i organizacijama koje taj spektar moraju raspodijeliti. Naime, u trenutnom spektru zbog preopterećenosti istog došla je u pitanje i sigurnost i stabilnost samih mreža, a ponajviše određenih djelatnih sektora kao što su vojni ili zdravstveni sektor koji oduvijek imaju svoj vlastiti rezervirani spektar frekvencija. Spektre koje ti sektori koriste i dalje ne smije nitko drugi koristiti, ali svakako sa sve većim zagušenjem dosadašnjeg spektra njihova sigurnost i stabilnost postaje sve upitnija.

Dijeljenje radiofrekvencijskog spektra podrazumijeva dijeljenje spektra između samih operatera tj. pravo na otkupljivanje određenih neiskorištenih frekvencija između dva različita operatera. Iako su takve vrste trgovanja frekvencijama između operatera postojale i ranije, tehnologija 5G mreže to dodatno olakšava i omogućuje sa svojim automatskim prepoznavanjem nekorištenog spektra. To je izrazito korisno u slabije naseljenim područjima gdje je prisutno više različitih operatera, a gdje će pojedini operater zauzeti povećani dio spektra, pri čemu će mu većina radnih frekvencija ostati neiskorištena.

U tom slučaju drugi operater može otkupiti i koristiti te dodijeljene frekvencije. Ovo znatno pojeftinjuje uvođenje 5G mreže na tim područjima s obzirom na to da se također smanjuje i potreba za izgradnjom vlastite mrežne infrastrukture od strane svakog pojedinog operatera.

Također, 5G mreža koristiti će vlastite dodijeljene spektre na mjestima gdje je izgrađena infrastruktura za njih, ali isto tako će u slučaju nedostupnosti 5G mreže uređaji moći koristiti spektre 4G mreže, tj. automatski se prebacivati na rad 4G mreža dok se ne omogući ponovni pristup 5G mreži. Na taj način sprečavaju se prekidi veza ili potpuni gubici signala.

Kod principa dijeljenja frekvencijskog spektra izrazito je koristan i uređaj koji se naziva "kognitivni radio". On radi na način da skenira radijski spektar i traži neiskorištene frekvencijske pojaseve kako bi se izbjegle smetnje i zagušenja.

Spektre možemo podijeliti na tri kategorije: licencirani spektar, dijeljeni spektar i nelicencirani spektar (Slika 9).



Slika 9 - Prikaz raspodjele spektara prema dodijeljivanju, preuzeto sa URL:

<https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/11/17/5g-spectrum-sharing-brings-new-innovations>

Poznajemo 3 različite metode dijeljenja frekvencijskog spektra [9]:

- **Horizontalno dijeljenje** → svi uređaji imaju jednaka prava pristupa određenom spektru
- **Verikalno dijeljenje** → korisnici dodijeljuju prioritete pristupa određenom spektru

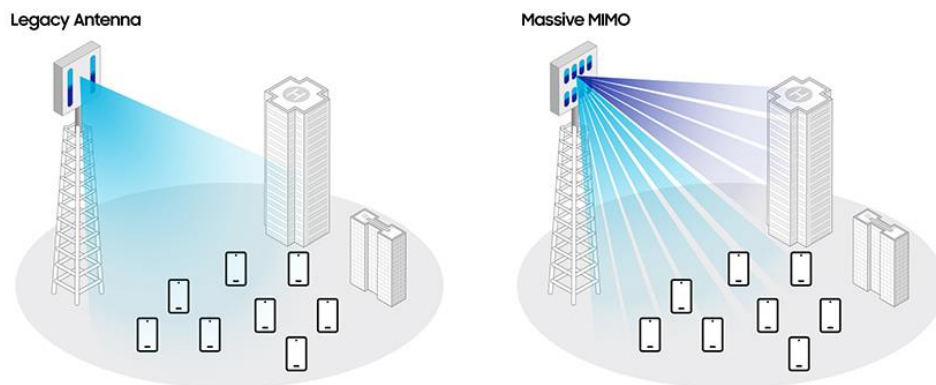
- **Hijerarhijsko dijeljenje** → napredniji oblik vertikalnog, spektri se dodjeljuju prema važnosti pristupa pojedinom spektru i važnosti samog tipa korisnika

#### 4.4. Masivni MIMO i Beamforming

Masivni MIMO (Multiple Input, Multiple Output) jedan je od ključnih noviteta i principa rada antena i baznih stanica 5G mreže.

Milimetarski valovi nemaju veliki domet, stoga se kraći domet pokušava produžiti i pojačati većim brojem antena na baznim stanicama ili odašiljačkim panelima.

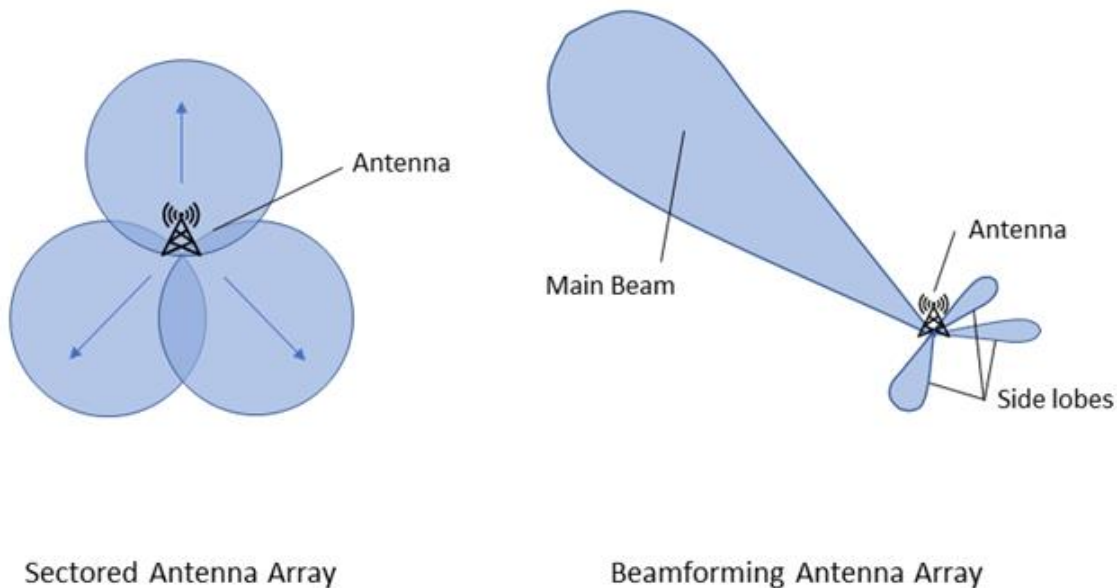
Dosadašnji odašiljači sadržavali su ponajviše desetak antena, dok odašiljači 5G mreže na sebi imaju i po stotinjak manjih antena kako bi se pokrio što veći broj korisnika istovremeno (Slika 10).



Slika 10 - Prikaz rada Massive MIMO antena naspram antena prethodnih generacija mobilnih mreža, preuzeto sa URL: <https://news.samsung.com/global/samsung-shares-massive-mimo-roadmap-in-new-whitepaper>

Važno je naglasiti da antene masivnog MIMO sustava su istovremeno i pošiljatelji i primatelji signala. Na taj način postiže se veća razina slobode bežičnih kanala, te se također postiže značajna ušteda energije i resursa. Osim same novčane i energetske uštede ovaj princip rada poboljšava same performanse, pouzdanost i sigurnost tih mobilnih mreža.

Kod 4G mreža signal se raspršivao na sve strane kada bi putovao od antene prema korisniku pri čemu se znatno gubilo na jačini signala i udaljenosti koju takav signal pokriva. Kod Massive MIMO antenna i 5G mreža upoznajemo novi princip “spajanja” odaslanih signala, tzv. Beamforming (Slika 11).



Slika 11 - Prikaz spajanja signala Beamformingom, preuzeto sa URL:  
<https://verkotan.com/2021/beamforming-antennas-how-they-work-and-are-tested/>

Beamforming je izrazito koristan u spektru milimetarskih valova upravo iz razloga njihovog kratkog dometa. Ovakvim načinom “spajanja” signala u jednu veliku usmjerenu zraku postiže se znatno veći domet signala, a ciljanom usmjerenošću signala također se postiže i znatno brži prijenos podataka.

#### 4.5 Male ćelije

S obzirom da milimetarski valovi imaju nisku sposobnost probojnosti prepreka, osim masivnog MIMO-a i Beamforminga za uspješniji i bolji rad 5G mreža primjenjuje se i tehnologija malih ćelija.

Tehnologija malih ćelija funkcioniše na način da se uz osnovnu baznu stanicu unutar ćelija djelovanja signala postavlja puno manjih baznih stanica, odnosno "malih ćelija". Male ćelije postavljaju se najčešće od strane samih pružatelja usluga odnosno operatera i služe kako bi održavale kvalitetu signala i brzinu prijenosa stalnom u područjima sa velikim brojem korisnika i fizičkih prepreka u okruženju.

Male ćelije primaju signale od glavne bazne stanice, a potom te signale koriste korisnici koji su u neposrednoj blizini specifične male ćelije.

Na koji način prostorno funkcioniraju male ćelije možemo vidjeti na donjem prikazu (Slika 12).



Slika 12 - Prikaz rada tehnologije malih ćelija, preuzeto sa URL: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/5G-Small-Cells-Basics-and-Types.html>

Prema njihovoj veličini i snazi razlikujemo više tipova malih ćelija:

- **femto ćelije** → podržavaju do 32 korisnika, doseg od 10-ak metara
- **piko ćelije** → podržavaju do 128 korisnika, doseg od 10-ak metara

- **mikro ćelije** → do 256 korisnika, doseg od par stotina metara
- **metro ćelije** → više od 250 korisnika, doseg preko kilometra

Brojne su prednosti korištenja malih ćelija u mrežnim infrastrukturama 5G mreža, a neke od glavnih su sljedeće:

- bolja pokrivenost područja gdje je signal slab zbog prepreka
- veći broj mogućih korisnika same mreže
- brži prijenos podataka i niža latencija
- manja potrošnja naspram velikih baznih stanica
- lagana instalacija i servisiranje
- bolja kvaliteta signala

## 5. Usluge i koristi 5G mreža

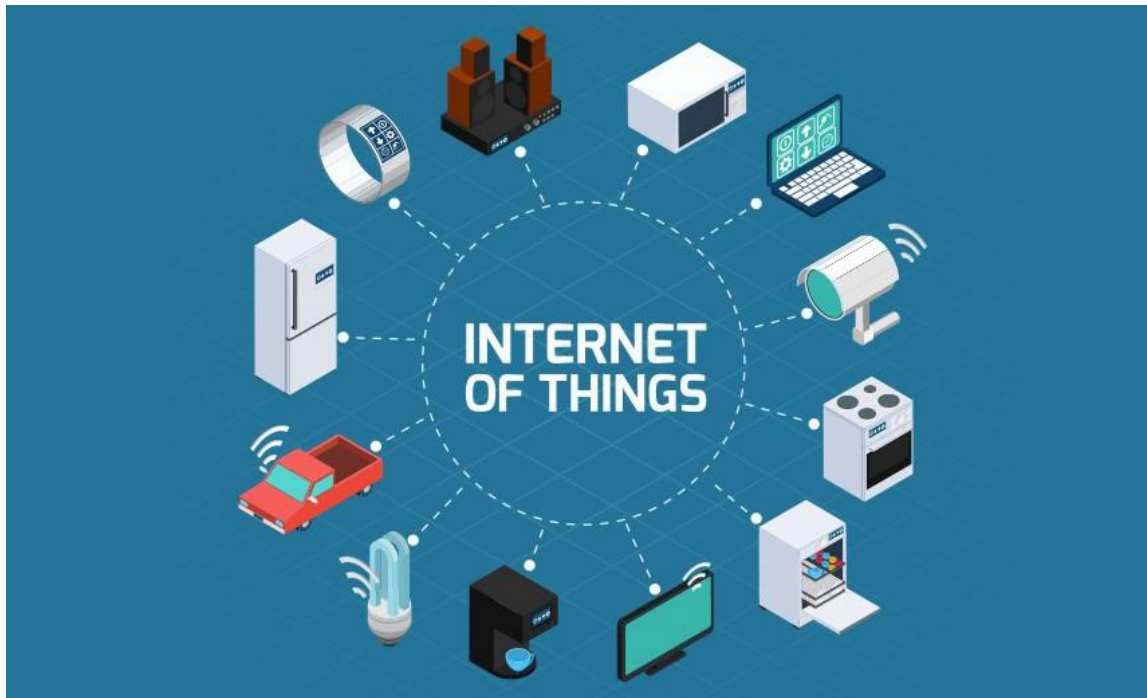
Potreba za novom generacijom mobilnih mreža proizašla je ponajviše iz nevjerojatno ubrzanog razvoja praktički svih vrsta tehnologija u zadnjih 10 godina. Pošto 5G mreže postižu izrazito visoke brzine prijenosa podataka, kao i izrazito niske latencije, u većini slučajeva trebale bi biti bolje od klasičnih bežičnih (Wi-Fi) mreža, pa čak i od nekih optičkih mreža. To svakako daje dodatan poticaj za ulaganje u daljnji razvoj 5G mreža i korištenje istih u svakodnevnim situacijama.

Prosječan korisnik rapidni razvoj tehnologije najviše može primijetiti u porastu broja korisnika društvenih mreža i streaming servisa, ali i u velikom broju novih mogućnosti koje te platforme danas nude.

To je samo neznatni dio usluga i tehnologija koje su znatno napredovale u zadnjih desetak godina. Od pojave 4G mreža (2009. godine) pa do danas, formati video sadržaja su znatno porasli kvalitetom i veličinom. Tako je npr. 2009. godine 4K rezolucija ( $3840 \times 2160$ ) bila tek u povojima i nisu još niti postojali uređaji koji bi je podržavali, dok je danas ta rezolucija postala dostupna širim masama kako cijenom uređaja koji je podržavaju, tako i sadržajem dostupnim za gledanje u njoj, a pritom se već razvija i pojavljuje sve više uređaja sa 8K ( $7680 \times 4320$ ) rezolucijom slike. Video sadržaji u tim rezolucijama u podatkovnom smislu su izrazito veliki, te zahtijevaju brze internetske veze kako bi korisnik mogao nesmetano gledati sadržaj u tim rezolucijama bez smrzavanja slike i beskonačnih učitavanja. Osim toga, veliki razvoj mobilnih uređaja i ogroman porast broja korisnika istih zahtijeva što kvalitetniju i bržu mobilnu mrežu pošto korisnici ne mogu uvijek imati pristup nekoj Wi-Fi mreži.

Ipak, ključni primjeri potrebe za 5G mrežom kriju se u puno naprednijim i “ozbiljnijim” tehnologijama kao što su VR (virtualna stvarnost, eng. Virtual Reality), AR (proširena stvarnost, eng. Augmented Reality) ili autonomni (samovozeći) automobili.

Također, sve više dolazi do izražaja specifična mrežna infrastruktura i svojevrsna “moderna filozofija življenja”, tzv. internet stvari (eng. Internet of Things, Slika 13 ).



*Slika 13 - Primjer uređaja u domeni Internet of Thingsa, preuzeto sa URL:  
<https://medium.com/agileinsider/internet-of-things-iot-101-7588a388ef70>*

Internet stvari funkcionira na način da bi svi električni uređaji u našoj blizini trebali biti spojeni stalno na internet (bežično ili žičano) kako bi mogli biti u stalnoj međusobnoj interakciji i interakciji s okolinom, a ujedno kako bi ljudi kao vlasnici mogli upravljati radom tih uređaja neovisno o udaljenosti od njih. Primjer toga su moderne perilice rublja ili frižideri kojima možemo kontrolirati rad na daljinu, odnosno paliti ih i gasiti, kao i provjeravati trenutno stanje njima zadanog zadatka.

Konkretni primjeri koristi 5G mreža u već navedenim i sličnim uslugama, kao i u različitim oblicima poslovanja su sljedeći:

- **Autonomna vozila** → mogućnost instantnog prepoznavanja svoje okoline zbog izrazito niske latencije 5G mreža (1ms) što će znatno poboljšati rad i sigurnost upravljanja ove tehnologije budućnosti



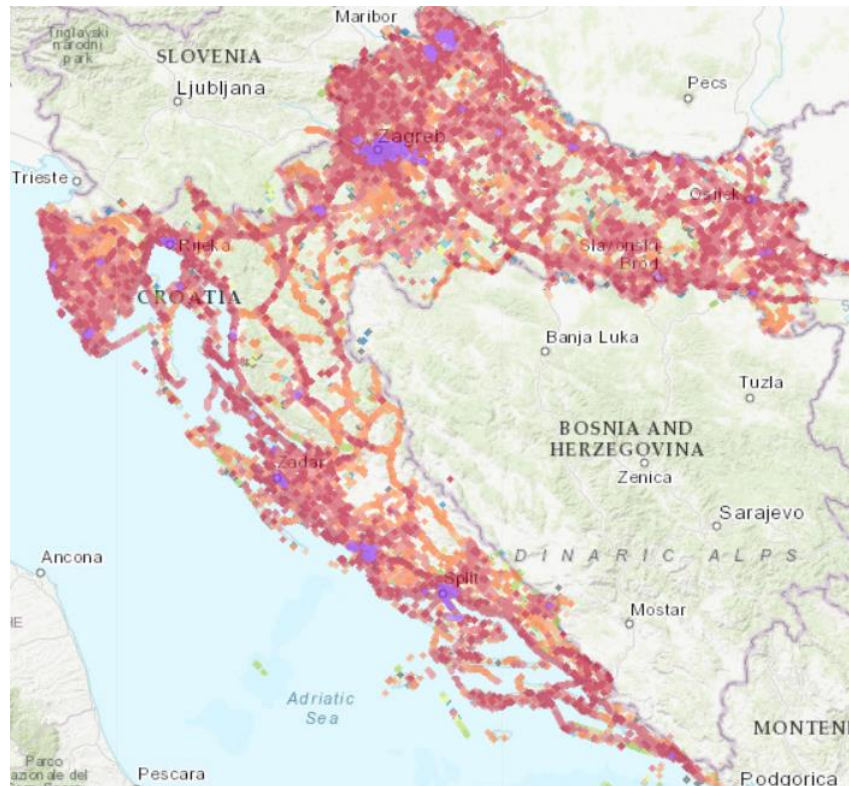
- **Virtualna stvarnost (VR)** → prisustvovanje udaljenim sportskim događajima ili koncertima iz udobnosti vlastitog doma bez kašnjenja slike ili zvuka
- **Internet stvari** → manja latencija pomaže pri bržem prepoznavanju promjena stanja u ekosustavu samog uređaja što pomaže bržem otklanjanju poteškoća i nepravilnosti u radu samih uređaja
- **Pametni gradovi** → javljanje komunalnim poduzećima kada je određena kanta za smeće puna i treba pražnjenje, reguliranje ulične rasvjete ovisno o dobu dana i vremenskim uvjetima te prikazivanje parkirnih mjesta u blizini samo su neke od dobrobiti korištenja 5G mreža
- **Igrača (gaming) industrija** → brže preuzimanje igara sa online servisa, lakši i brži prijenos sadržaja putem streaming servisa te brže i preciznije igraće iskustvo kako kućnim korisnicima tako i na profesionalnim međunarodnim natjecanjima
- **Medicina** → preciznije i vjernije praćenje stanja pacijenata putem uređaja za kontrolu zdravstvenih anomalija (npr. holter)
- **Vojna primjena** → preciznije korištenje navigirajućeg naoružanja i veća točnost pri korištenju raznih simulatora
- **Edukacija i kultura** → posjećivanje muzeja i ostalih kulturnih zbivanja uz pomoć virtualne stvarnosti
- **Sport** → precizne i dubinske analize tehnike, izvedbe, zdravstvenog i kondicijskog stanja pojedinih igrača uz pomoć specijaliziranih mjernih uređaja

## 6. Implementacija i korištenje 5G mreže u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska i njeni teleoperateri oduvijek su bili otvoreni prema uvođenju novih tehnologija i pružanju što boljeg mobilnog iskustva svojim građanima i korisnicima. Iako u nekim drugim segmentima mrežnih tehnologija kao što je brzina i stabilnost kućnog interneta znatno zaostajemo za većinom europskih i svjetskih zemalja, u području mobilnih komunikacijskih tehnologija držimo korak sa tehnološki znatno bogatijim i naprednijim zemljama.

Hrvatska je tako testiranje 5G signala započela već 2019. godine sa testnim mrežama u Samoboru, Osijeku i na otoku Krku. Komercijalno korištenje 5G mreža započelo je 29. listopada 2020. godine od strane Hrvatskog Telekomu na području Zagreba, Rijeke, Splita, Osijeka, Samobora i Svete Nedelje.

Nešto kasnije priključili su se i ostali hrvatski operateri sa svojim 5G mrežama, no ipak Hrvatski Telekom prednjači po broju korisnika i području pokrivenosti svoje 5G mreže. Zaključno s lipnjem 2021. godine HT-ova 5G mreža pokriva 76 gradova i 11 općina što pokriva područje od oko 2 milijuna stanovnika Republike Hrvatske [25]. Karta pokrivenosti 4G i 5G mreže Hrvatskog Telekomu prikazana je na donjoj slici, pri čemu crvene točke označavaju pokrivenost 4G mrežom, dok su ljubičasta područja ona koja podržavaju i 5G mrežu.



Slika 14 - Karta mrežne pokrivenosti mrežom Hrvatskog Telekom, preuzeto sa URL:

[https://www.nperf.com/hr/map/HR/-/7915.T-](https://www.nperf.com/hr/map/HR/-/7915.T-Mobile/signal/?ll=44.221583765457986&lg=17.890686085447673&zoom=7)

[Mobile/signal/?ll=44.221583765457986&lg=17.890686085447673&zoom=7](https://www.nperf.com/hr/map/HR/-/7915.T-Mobile/signal/?ll=44.221583765457986&lg=17.890686085447673&zoom=7)

Iz priložene karte vidljivo je da su svi najveći hrvatski gradovi pokriveni 5G mrežom, također ukoliko se uspoređi pokrivenost 5G mreže sa 4G mrežom vidi se koliko je puno mjesta za napredak i ulaganja u razvoj 5G mreže u Republici Hrvatskoj.

Ulagati u daljnji razvoj 5G mreže svakako je dobro za cijelu Republiku Hrvatsku, ne samo zbog svih dobroti 5G signala, već i zbog velikog broja novih radnih mjesta koja bi to otvorilo za potrebe implementacije, korisničke podrške i servisiranja same mreže.

HAKOM je jasno definirao i radiofrekvencijske pojaseve za korištenje 5G mreže. Pojasevi koje koristi isključivo 5G mreža su trenutno 700 MHz i 3,6 GHz, odnosno pojasevi u niskom i srednjem radiofrekvencijskom spektru. Nešto kasnije po dodatnom razvoju mrežne infrastrukture u planu je korištenje i visokog spektra od 26GHz za ostvarivanje

punog potencijala 5G mreža. Trenutno 5G mreža dijeli i spektre s 4G mrežom, te tako radi i u frekvencijskim pojasevima od 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz i 2600 MHz.

Pozitivan primjer reklamiranja i korištenja 5G mreža viđen je ove godine u Osijeku na događaju "Pannonian Challenge", svojevrsnom festivalu urbane kulture i ekstremnih sportova gdje je A1 mreža pokrivala cijeli događaj sa svojom 5G mrežom, te između ostaloga omogućila i javljanje uživo u informativnu emisiju "RTL Danas" preko svoje 5G mreže [26].

## 7. Potencijalni sigurnosni i zdravstveni rizici implementacije 5G mreže

### 7.1. Sigurnost

S obzirom da je 5G još uvijek nova i nedovoljno korištena tehnologija, logično je da postoje određene sigurnosne bojazni pri implementaciji i korištenju iste.

Neki od potencijalnih sigurnosnih problema korištenja 5G mreže su sljedeći:

- nova tehnologija i nedovoljno testirane komponente
- pristup velikim količinama podataka stvara i veću mogućnost neželjenih napada
- primjena u osjetljivim sektorima gdje mobilne mreže prethodnih generacije nisu bile korištene u tom obujmu pri samom radu (zdravstvo i vojni sektor)
- prisluškivanje i analiza prometa
- DoS i DDoS napadi

Može se reći da su i prethodne generacije mobilnih mreža imale sličan skup potencijalnih sigurnosnih rizika, a uspjele su ih uspješno prebroditi. Isti slučaj trebao bi biti i sa 5G mrežom, ali ipak sigurnosnom aspektu se pristupa opreznije i detaljnije no ikada. Razlozi za to su mnogi, a neki od najizraženijih su svakako sljedeći:

- korisnici nisu nikada do sada imali tako veliku količinu privatnih podataka pohranjenih na raznim mrežnim servisima (profili na društvenim mrežama, pohrane slikovnih i videozapisa na raznim cloud servisima, etc.)
- banke sve više i izražajnije nude mobilno i internet bankarstvo svojim korisnicima
- značajan broj mrežnih transakcija i korištenja kreditnih kartica za kupovinu online
- veliki broj needuciranih korisnika mrežnih i mobilnih usluga među koje je lako unijeti najčešće nepotrebnu sumnju i nesigurnost
- neopreznost prosječnog korisnika i nepoštivanje naputaka o tome kako se „sačuvati“ na mreži

Ipak, koliko god su sigurnosni rizici porasli, toliko je porasla i razina sigurnosti i mogućnosti obrane od takvih neželjenih napada (thales link). Neke od najboljih i najčešće korištenih metoda su:

- provjera autentičnosti uz posrednost pružatelja mrežne usluge
- pojačavanje signala kako bi se osiguralo da signal dođe do željene destinacije
- dodavanje šuma u signal
- provjera autentičnosti isporučenog sadržaja kako bi se utvrdilo da se traženi sadržaj putem nije duplicirao ili mijenjao.

Iz svega navedenog, za očekivati je da će 5G mreža položiti svoj “ispit” po pitanju sigurnosti, te usprkos svim sumnjama pokazati se kao najsigurnija generacija mobilnih mreža do sada.

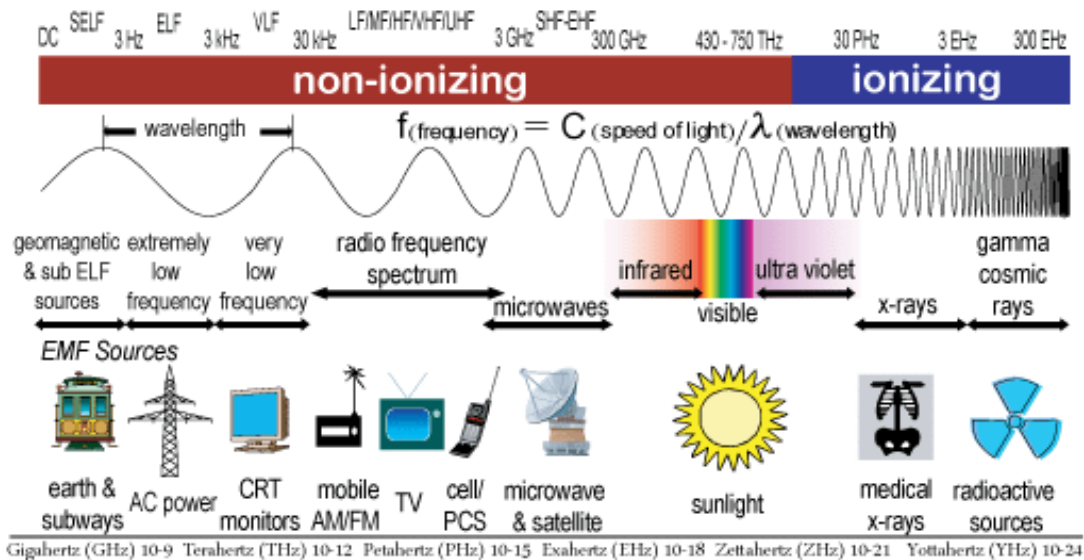
## **7.2. Zdravstveni rizici**

Prilikom svakog uvođenja neke nove tehnologije uz koju se veže riječ “zračenje” javlja se i određena doza straha među širim pukom, kao i znatna doza lažnih istraživanja i kvazi-stručnjaka koji iz osobnih interesa dodatno potiču taj strah i skepticizam među nedovoljno upućenim i nestručnim pukom.

Istina, takav strah je ponekad utemeljen i opravdan, odnosno neke tehnologije stvarno nose sa sobom i određenu dozu štetnosti po zdravlje pojedinca. Ipak, sa 5G mrežom kao i sa svim prethodnim generacijama mobilnih komunikacijskih mreža to nije slučaj.

Naime, mobilni uređaji postoje već preko 30 godina i u početku njihova korištenja, kao i dugi niz godina kasnije postojalo je uvriježeno mišljenje kako su mobilni uređaji izrazito štetni za ljudsko zdravlje zbog zračenja koje proizvode, te da uzročno posljedično mogu uzrokovati pojavu težih bolesti kao što je rak ili uzrokovati neplodnost. Nakon velikog niza istraživanja na tu temu utvrđeno je da mobilni uređaji ipak nemaju nikakav ozbiljan utjecaj na ljudsko zdravlje, a isto je potvrdila i svjetska zdravstvena organizacija (WHO) još 2014. godine [23]. Činjenica je da mobilni uređaji i mobilne mreže proizvode određenu količinu

zračenja, ali pritom proizvode tzv “neionizirajuće” zračenje koje se ne smatra štetnim po ljudsko zdravlje. Uređaji i pojave koje emitiraju neionizirajuće odnosno ionizirajuće zračenje prikazani su na donjoj slici (Slika 15).



Slika 15 - Prikaz uređaja i pojava koje emitiraju neionizirajuća i ionizirajuća zračenja, preuzeto sa URL: [https://www.researchgate.net/figure/Ionizing-and-Non-Ionizing-Electromagnetic-Radiation-16\\_fig1\\_341041394](https://www.researchgate.net/figure/Ionizing-and-Non-Ionizing-Electromagnetic-Radiation-16_fig1_341041394)

Kao što vidimo pod uređaje koji emitiraju neionizirajuća zračenja spadaju i brojni drugi uređaji i tehnologije s kojima se čovjek susreće svakodnevno i za koje nikad nije utvrđeno da se netko razbolio od njih ili imao bilo kakve negativne posljedice njihova zračenja. Također vidimo i da su svi spektri ionizirajućeg zračenja izrazito štetni za zdravlje pojedinca ukoliko im se izlaže više nego je potrebno. 5G mreža neovisno o svojoj dodijeljenoj frekvenciji uvijek radi na principu neionizirajućeg zračenja.

Najviše teza o štetnosti 5G mreže stvorilo se upravo zbog njenih novih tehnologija i radiofrekvencijskih spektara koje koristi. Ljudi su se zabrinuli zbog postavljanja velikog broja novih baznih stanica i antena (tehnologija malih ćelija) u njihovoj okolini za koje su mnogi utjecajni, ali pritom i neupućeni pojedinci razglasili da će ih te antene “ubiti”, učiniti neplodnima, uzrokovati stalne glavobolje i slične znanstveno neutemeljene izjave.

Ponajviše se govorilo o velikoj štetnosti visokih frekvencija (milimetarskih valova) na kojima radi 5G mreža. Naravno, kao što je prije objašnjeno taj strah je potpuno neutemeljen i nepotreban s obzirom da milimetarski valovi ne mogu probiti skoro pa nikakve prostorne prepreke, pa tako ni ljudsku kožu [19].

Takve pretpostavke nikada nisu donijele ništa dobro jer dovode do masovnih zabluda i paranoja za što je glavni primjer učestalo uništavanje 5G antena diljem svijeta od strane pojedinaca ili grupa ljudi zbog uvjerenja da je 5G mreža znatno štetnija po njihovo zdravlje od svih dotadašnjih generacija mobilnih mreža.

Još jedna od "teorija zavjere" na temu 5G mreža je ta da su 5G bazne stanice i milimetarski valovi uzrokovali pandemiju korona virusa [22]. Naime, bazne stanice za 5G mrežu u kineskom gradu Wuhanu gdje se prvi puta službeno pojavio virus COVID-19 postavile su se netom prije pojave prvog slučaja zaraze u Wuhanu, te su pojedinci u očaju koji je mnoge snašao uslijed pandemije pronašli krivca u baznim stanicama 5G mreže. Naravno, istomišljenika je bilo diljem svijeta, te su stoga brojne bazne stanice i male ćelije 5G mreže uništene upravo iz tog razloga. Povezanost 5G mreža sa pojavom koronavirusa je naravno čista slučajnost i nikada nije utvrđen nikakav utjecaj 5G mreže na oboljenje neke osobe od COVID-a 19.

Iako nema znanstvenih studija koje bi ukazale na štetnost mobilnih telekomunikacijskih mreža, pa tako niti 5G mreža, možemo zaključiti da je najveća kočnica daljnjeg razvoja i implementacije zapravo sociološke prirode, a ne tehničke ili ekonomske.



## 8. Zaključak

Od prve generacije mobilnih komunikacijskih mreža do aktualne pete generacije proteklo je mnogo godina i puno toga se promijenilo, kako u samim tehnologijama, tako i u karakterima i običajima ljudi.

Potreba za stalnom međuljudskom komunikacijom i praćenje svih aktualnosti i zbivanja postala je sastavni dio naše svakodnevice, pogotovo u ovo pandemijsko vrijeme. Također, ljudi sve više rade “na daljinu” odnosno od kuće, te je za uspješno poslovanje potreban stalan pristup internetu na bilo koji način.

Iz tog razloga ulaganje u razvoj mobilnih komunikacijskih tehnologija trebao bi biti prioritet ne samo mobilnih operatera već i državnih ustanova. Srećom, u Republici Hrvatskoj potencijal 5G mreže kao tehnologije budućnosti na vrijeme je prepoznat, te se razmjerno mogućnostima i potrebama pravilno i odgovorno ulaže u njen daljnji razvoj.

Na nama korisnicima je samo da tu tehnologiju koristimo savjesno i odgovorno, te da ni na koji način ne usporavamo njen razvitak. 5G mreža je svakako mreža i tehnologija budućnosti koja nam može donijeti velike dobrobiti u svim sferama života, kako privatnog tako i poslovnog.

Upravo u tome vidim mogućnost za daljni znanstveni rad u području 5G mreža. Prije svega u osmišljavanju, razvoju i analizi novih tehnologija i usluga za širi krug korisnika, a baziranih na širokopojasnoj mobilnoj 5G infrastrukturi. Time bi smanjili nedoumice i potaknuli prihvaćanje 5G tehnologije, te omogućili nove usluge i dodanu vrijednost u svakodnevnom djelovanju svih članova našeg globalnog društva.

Budućnost je svjetla i obećavajuća, a na nama je samo da hrabro koračamo ka njoj bez straha i predrasuda.

## 9. Literatura

1. Opačak, M. (2019) 'PRILIKE I PRIJETNJE 5G MOBILNE MREŽE U REPUBLICI HRVATSKOJ : Završni rad', Završni rad, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:124:065503>
2. Maček, S. (2016) 'Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije', Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:322092>
3. Laitinen H., Ahonen S., Kyriazakos S., Lähteenmäki J., Menolascino R., Parkkila S. (2001) 'Cellular Location Technology' , Dostupno na: [https://s2.smu.edu/~rajand/courses/8377/papers/e911\\_recent.pdf?fbclid=IwAR0R0aJKEtAC-hJckSYHzfQzI\\_CwGEQiOe1uVN6Fz87NexPAFBg4BjsEROA](https://s2.smu.edu/~rajand/courses/8377/papers/e911_recent.pdf?fbclid=IwAR0R0aJKEtAC-hJckSYHzfQzI_CwGEQiOe1uVN6Fz87NexPAFBg4BjsEROA)
4. Agilent (2009) '3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges' Dostupno na: [https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf?fbclid=IwAR0PvolaEWo9K\\_k2WSkSdxbPx7Lo2i44M2QR4ywKARx\\_FaU\\_yGIOwQ2BHX-s](https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf?fbclid=IwAR0PvolaEWo9K_k2WSkSdxbPx7Lo2i44M2QR4ywKARx_FaU_yGIOwQ2BHX-s)
5. Robert C. Raciti (1995) 'Cellular Technology' Dostupno na: <https://web.archive.org/web/20130715020839/http://scis.nova.edu/~raciti/cellular.html>
6. Mrvelj, Š. (2009) 'Pokretne ćelijske mreže 2. i 3. generacije' Dostupno na: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija\\_telekomunikacijskog\\_prometa/Materijali/9\\_predavanje.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/9_predavanje.pdf)
7. Mehta H., Patel D., Joshi B., Modi H. (2014) '0G to 5G Mobile Technology: A Survey' Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/308540263\\_0G\\_to\\_5G\\_Mobile\\_Technology\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/308540263_0G_to_5G_Mobile_Technology_A_Survey)

8. Hardell L. ,Carlberg M. (2020) 'Health risks from radiofrequency radiation, including 5G, should be assessed by experts with no conflicts of interest'  
Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7405337/>
9. Prasad,R. : '5G:2020 and beyond', River Publishers, Aalborg, 2014  
Dostupno na:  
[https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP\\_E9788793237131.pdf](https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_E9788793237131.pdf)
10. Lopa J. Vora (2015) 'Evolution Of Mobile Generation Technology: 1G TO 5G and Review of Upcoming Wireless Technology 5G'  
Dostupno na:  
[http://www.danspela.com/pdf/p113.pdf?fbclid=IwAR04g3eeQvxn6j6FCsRXYFZW\\_sG\\_W0i\\_yPhl7fvcYfp2XlcoL2BTsQZ54Pks](http://www.danspela.com/pdf/p113.pdf?fbclid=IwAR04g3eeQvxn6j6FCsRXYFZW_sG_W0i_yPhl7fvcYfp2XlcoL2BTsQZ54Pks)
11. Empower Publication (2020) 'Virtual Events are Booming With 5G' Dostupno na:  
<https://marketingsociety.com/empower-publication>
12. Galazzo, R. (2021) 'From 1G to 5G: The History of Cell Phones and Their Cellular generations' Dostupno na: <https://www.cengn.ca/timeline-from-1g-to-5g-a-brief-history-on-cell-phones/>
13. Galazzo, R. (2021) 'Electromagnetic Hypersensitivity (EHS): Is it a Threat to 5G?'  
Dostupno na:  
<https://www.cengn.ca/electromagnetic-hypersensitivity-ehs-is-it-a-threat-to-5g/>
14. Haverans R., (2021) 'From 1G to 5G: A Brief History of the Evolution of Mobile Standards' Dostupno na:  
<https://www.brainbridge.be/en/blog/1g-5g-brief-history-evolution-mobile-standards>
15. Fogg I., (2019) '5G boosts the maximum real-world download speed by up to 2.7 times 4G users' top speeds' Dostupno na:  
<https://www.opensignal.com/2019/07/08/5g-boosts-the-maximum-real-world-download-speed-by-up-to-27-times-4g-users-top-speeds>
16. Knapp, M. (2019) 'The world's first 5G phone: our hands-on with the future of smartphones' Dostupno na: <https://www.techradar.com/news/the-first-5g-phone-hands-on>
17. Chen, M. (2021) 'Internet of Things (IoT) 101' Dostupno na:  
<https://medium.com/agileinsider/internet-of-things-iot-101-7588a388ef70>

18. Ledinek, S. (2013) 'Razvoj mobilnih mreža [infografika]' Dostupno na: <https://www.racunalo.com/razvoj-mobilnih-mreza-infografika/>
19. Segan, S. (2021) 'What is 5G?' Dostupno na: <https://www.pcmag.com/news/what-is-5g>
20. Johnson, D. (2020) 'What frequency is 5G? Here's what you need to know about the high-speed cellular network generation and its range of frequencies' Dostupno na: <https://www.businessinsider.com/what-frequency-is-5g>
21. CBR Staff Writer (2018) 'What is Massive MIMO?' Dostupno na: <https://techmonitor.ai/leadership/digital-transformation/what-is-massive-mimo>
22. Heilweil, R. (2020) 'How the coronavirus conspiracy theory went from fringe to mainstream' Dostupno na: <https://www.vox.com/recode/2020/4/24/21231085/coronavirus-5g-conspiracy-theory-covid-facebook-youtube>
23. Vidov, P (2019.) 'Ne postoje dokazi da je 5G tehnologija štetna za ljudsko zdravlje' Dostupno na: [https://faktograf.hr/2019/05/27/ne-postoje-dokazi-5g-tehnologija-zdravlje/?fbclid=IwAR3c5VPsNdJRnZM0HCvDFYVn5LQJ5c5TMyTn\\_iAL\\_CMggGXdzmsnOKzHQaU](https://faktograf.hr/2019/05/27/ne-postoje-dokazi-5g-tehnologija-zdravlje/?fbclid=IwAR3c5VPsNdJRnZM0HCvDFYVn5LQJ5c5TMyTn_iAL_CMggGXdzmsnOKzHQaU)
24. Lider (2020) 'Puštena u rad prva komercijalna 5G mreža u Hrvatskoj!' Dostupno na: <https://lider.media/poslovna-scena/hrvatska/pustena-u-rad-prva-komercijalna-5g-mreza-u-hrvatskoj-133814>
25. Telegram (2021) '5G u Hrvatskoj: Više nije potreban skupi moćni uređaj, najpopularnije igre dostupne svima!' Dostupno na: <https://www.telegram.hr/partneri/5g-u-hrvatskoj-vise-nije-potreban-skupi-mocni-uredaj-najpopularnije-igre-odsad-dostupne-svima-evo-kako/>

26. Jutarnji list (2021) 'Završeno 22. izdanje Pannonian Challengea...' Dostupno na: <https://www.jutarnji.hr/promo/završeno-22-izdanje-pannonian-challengea-kojeg-su-obilježili-vrhunski-sportski-nastupi-urbana-glazba-i-gromoglasna-osjecka-publika-15095230>
27. Forbes (2020) 'Let's Talk About Spectrum: How More Bands Make A Better Network' Dostupno na: <https://www.forbes.com/sites/tmobile/2020/06/10/lets-talk-about-spectrum-how-more-bands-make-a-better-network/?sh=184a5b79542b>
28. Verizon (2018) 'What is 4G LTE and why it matters' Dostupno na: <https://www.verizon.com/about/news/what-4g-lte-and-why-it-matters>
29. HAKOM (2021) '5G mreža' Dostupno na: <https://www.hakom.hr/hr/5g-mreza/60>
30. Qualcomm (2021) 'Everything you need to know about 5G.' Dostupno na: <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g>
31. Qualcomm (2016) '5G spectrum sharing brings new innovations' Dostupno na: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/11/17/5g-spectrum-sharing-brings-new-innovations>
32. Avnet (2021) 'Understanding Massive MIMO technology' Dostupno na: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/markets/communications/5g-solutions/understanding-massive-mimo-technology/>
33. Thales (2021) '5G technology and networks (speed, use cases, rollout)' Dostupno na: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/mobile/inspired/5G>
34. Cisco (2021) 'What is 5G?' Dostupno na: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/what-is-5g.html>
35. Cisco (2021) 'What is 5G vs 4G?' Dostupno na: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/what-is-5g/5g-vs-4g.html>

## Popis kratica

MHz - Megahertz

GHz - Gigahertz

HAKOM - Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti

NTT - Nippon Telegraph and Telephone

AMPS - Advanced Mobile Phone System

NMT - Nordic Mobile Telephone

TACS - Total Access Communication System

GSM - Global System for Mobile Communication

GPRS - Global Packet Radio System

EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution

UMTS - Universal Mobile Telecommunication Systems

HDSPA - High-Speed Downlink Packet Access

HSUPA - High-Speed Uplink Packet Access

LTE - Long Term Evolution

ITU-R - International Telecommunications Union-Radio communications sector

LTE-A - Long Term Evolution Advanced

5G NR - 5G New Radio

MIMO - Multiple Input, Multiple Output

VR - Virtual Reality

AR - Augmented Reality

IoT - Internet of Things

DoS - Denial of Service

DDoS - Distributed Denial of Service

WHO - World Health Organization