

# PRILIKE I PRIJETNJE 5G MOBILNE MREŽE U REPUBLICI HRVATSKOJ

---

**Opačak, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of economics Split / Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:124:065503>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-09**

*Repository / Repozitorij:*

[REFST - Repository of Economics faculty in Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
EKONOMSKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

**PRILIKE I PRIJETNJE 5G MOBILNE MREŽE U  
REPUBLICI HRVATSKOJ**

**Mentor:**

**Izv. prof. dr. sc. Mario Jadrić**

**Student:**

**Marko Opačak**

**Split, rujan, 2019.**

# Sadržaj

<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
1.2. Zadatak završnog rada.....	1
<b>2. Razvoj mobilnih mreža kroz povijest .....</b>	<b>2</b>
2.1. Razdoblje prije mobilnih mreža (0G).....	2
2.2 Mobilne mreže prve generacije (1G) .....	2
2.3. Mobilne mreže druge generacije (2G) .....	3
2.4. Mobilne mreže treće generacije (3G).....	4
2.5. Mobilne mreže četvrte generacije (4G).....	5
<b>3. Peta generacija mobilnih mreža (5G) .....</b>	<b>7</b>
3.1. Milimetarski radiovalovi .....	8
3.2. Dijeljenje frekvencijskog spektra.....	10
3.3 Masivni MIMO .....	11
3.4. Beamforming.....	13
3.5. Male ćelije .....	14
3.6. Full duplex .....	16
<b>4. Prednosti 5G mreže u svijetu i Republici Hrvatskoj.....</b>	<b>17</b>
4.2. Internet stvari (eng. Internet of Things – IoT) .....	18
4.3. Samovozeći automobili .....	19
4.4. 5G mobilna mreža u VR i AR tehnologiji.....	21
<b>5. Potencijalne prijetnje 5G mreže za svijet i Republiku Hrvatsku .....</b>	<b>24</b>
5.1. Sigurnost.....	24
5.2. Geopolitička situacija .....	26
5.3. Utjecaj na zdravlje.....	28
<b>6. Implementacija 5G mreže u Republici Hrvatskoj.....</b>	<b>30</b>
<b>7. Zaključak.....</b>	<b>33</b>
Literatura:.....	34
Popis kratica.....	37
Sažetak .....	39
Životopis .....	40

## **1. Uvod**

Razvoj mobilnih mreža revolucioniralo je svijet. Individualci, narodi i svijet u globalu je postao povezaniji. Komunikacija se odvijala brže i jednostavnije što je pomoglo i bržem razvoju svjetskog gospodarstva. Svaka nova mobilna generacija donosila je veće pogodnosti podižući kvalitetu života pojedinca, ali i otvaranju novih radnih mjesta te pružajući priliku razvoju novih industrija.

Pogreška bi bila olako shvaćati pogodnosti dobivene modernim mobilnim mrežama jer je razvoj od 1G mreže pa do nadolazeće 5G mreže bio dugotrajan i zahtjevan. Bez obzira na kompleksnu infrastrukturu i zahtjevne izazove pri razvoju novih generacija mobilnih mreža, bilo je pitanje vremena kad će se kapaciteti trenutne generacije mobilne mreže umanjiti, a korisnički zahtjevi povećati. Upravo to je razlog zašto se sve više u današnje vrijeme raspravlja o novoj generaciji mobilne mreže.

5G mobilna mreža bi trebala biti „pametnija“, efikasnija te do sto puta brža od trenutne 4G mreže. Njena implementacija bi omogućila priključivanje raznih uređaja na mrežu što bi omogućilo razvoj Interneta stvari, robotike, samovozećih automobila i brojne druge mogućnosti.

S rastućom popularnošću 5G mreže, javljaju se i oni koji su protiv implementacije navedene tehnologije. Upozoravaju na nedovoljnu istraženost ove nove tehnologije te naglašavaju potencijalne opasnosti za život svih izloženih zračenju koje emitira 5G mreža.

### **1.2. Zadatak završnog rada**

U završnom radu opisat će se razvoj i navesti ključne promjene o svakoj prethodnoj mobilnoj generaciji. Analizirat će se tehnološke komponente koje tvore nadolazeću 5G mobilnu generaciju te objasniti potencijalne pozitivne i negativne posljedice implementacije 5G mobilne mreže za Republiku Hrvatsku i svijet. Također, promotrit će se trenutni stadij razvoja i predvidjeti očekivano vrijeme implementacije u Republici Hrvatskoj.

## 2. Razvoj mobilnih mreža kroz povijest

### 2.1. Razdoblje prije mobilnih mreža (0G)

Razdoblje prije mobilnih telefona naziva se 0G. Ovakav oblik telefona nalazio se najčešće u vozilima i nije bio prijenosan. Tehnologije koje su se najčešće koristile su PTT (*eng. Push to Talk*) koja je zahtijevala pritiskanje tipke prilikom odašiljanja poruke, MTS (*eng. Mobile Telephone Service*) koja je funkcionirala na način da operater osobno spaja dolazeće pozive s njihovim primateljima i AMTS (*eng. Advanced Mobile Telephone Service*), tehnologiju korištenu i u 1G mobilnoj mreži koja nije više zahtijevala ljudsku asistenciju pri uspostavi poziva<sup>1</sup>. Također, koristile su se i tehnologije IMTS (*eng. Improved Mobile Telephone Service*), OLT (*eng. Norwegian for Offentlig Landmobil Telefoni*), PLMT (*eng. Public Land Mobile Telephony*) i MTD (*eng. Mobile Telephony system D*)

### 2.2 Mobilne mreže prve generacije (1G)

U Tokiju 1979. Japanska tvrtka Nippon Telegraph razvila je prvi mobilni komunikacijski sustav na svijetu. Veza između korisnika mobilne mreže i bazne stanice provodila se preko FDMA (*eng. frequency division multiplex access*) višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom kanala. Prva generacija mobilne mreže (1G) karakteristična je po analognom signalu. Opcije su bile ograničene, a jedina mogućnost bila je komunikacija s drugom stranom putem glasovnog poziva. Tehnologija nije bila dovoljno razvijena za slanje SMS poruke, multimedijски sadržaj i prijenos podataka. Kvaliteta zvuka je bila loša i poziv bi se redovito prekidaо zbog određenih smetnji koje se javljaju tokom odašiljanja analognog signala koji nije imao visoko područje pokrivanja. Sigurnost je također bila problem zbog mogućnosti utjecanja na analogni signal. Maksimalna brzina 1G tehnologije je bila 2.4 Kbps.

Zbog navedenih nedostataka i rastućih korisničkih zahtjeva, znalo se da se budućnost mobilnih mreža treba temeljiti na drugačijoj tehnologiji. Koristilo se nekoliko standarda koji su pretežito bili vezani za geografski položaj zemalja korisnica. Najznačajniji su; NMT (*eng. Nordic Mobile*

---

<sup>1</sup> [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)

*Telephone*) koristio se Danskoj, Finskoj, Islandu, Švedskoj i Norveškoj tzv. Nordijskim zemljama kao i u u Švicarskoj, Nizozemskoj, Rusiji te dijelovima Istočne Europe i AMPS (*eng. Advanced Mobile Phone System*) koji se koristio u Sjevernoj Americi i Rusiji. Vrijedi spomenuti i TACS korišten u Ujedinjenom Kraljevstvu, RTMI korišten u Italiji, kao i C-450. Mobilna mreža 1G pokazala je konkretne prednosti lokacijske i vremenske nezavisnosti što je rezultiralo dominantnom pozicijom korisnika mobilnih mreža naspram korisnika fiksnih mreža<sup>2</sup>.

### **2.3. Mobilne mreže druge generacije (2G)**

Formiranjem europskog instituta za telekomunikacijske standarde (ETSI) počinje razvoj druge generacije mobilnih mreža. U Finskoj 1998. kreće komercijalna upotreba 2G mreže temeljene na GSM standardu koji opisuje protokole za korištenje 2G mreže.<sup>3</sup> GSM je i danas najrasprostranjeniji telekomunikacijski sustav na svijetu koji je ujedno i temelj funkcioniranja 2G mobilne mreže.

Za razliku od 1G mreže koja koristi analogni signal, 2G mreža funkcionira na principu pretvaranja analognog signala u digitalni i obrnuto. Digitalni signal je učinkovitiji, brži, jednostavniji i sigurniji. Osim toga, korisnici imaju mogućnost slanja SMS poruka.

Nadogradnjom GSM-a razvio se GPRS (*eng. Global Pocket Radio System*). GPRS je standardiziran 1998. godine, a komercijalna upotreba započela je 2001. godine. Naziva se i 2,5G jer predstavlja korak prema 3G mrežama. Omogućuje slanje i primanje podataka mrežom uz brzinu prijenosa do 115 kbit/s, kraće vrijeme spajanja, mogućnost pristupa internetu i nove usluge poput MMS-a (*engl. Multimedia Messaging Service*). Omogućuje komunikaciju tako što rezervira kanale samo kad korisnik želi slati podatke pa to omogućuje naplatu po ostvarenom prometu, a ne po trajanju podatkovne veze kao što je do tad bio slučaj.<sup>4</sup>

Novom EDGE tehnologijom (*engl. Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) koja nastaje nadogradnjom GSM tehnologije dolazi do značajnog povećanja brzina do 500 Kbps. Ovo unaprijeđenje se još naziva i 2.75G mobilnom generacijom.

---

<sup>2</sup> <https://interferencetechnology.com/mobile-generations-explained/>

<sup>3</sup> <https://www.etsi.org/technologies/mobile/2g>

<sup>4</sup> Fundak, D. (2016): 5G mobilni komunikacijski sustavi, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, str. 9.

2G generacija mobilne mreže predstavlja značajan iskorak u razvoju telekomunikacijske tehnologije i otvara nove mogućnosti za konstantno unaprjeđenje brzine, kvalitete i sigurnosti komunikacijskih kanala te ujedno i privlači nove korisnike koji prepoznaju koristi korištenja mobilne mreže za vlastite potrebe, ali i nove poslovne mogućnosti.

#### **2.4. Mobilne mreže treće generacije (3G)**

Kraj 20-tog stoljeća bio je poznat po „Internet boom-u“. Sve veći broj korisnika u razvijenim državama je svakodnevno koristio internet. Takva potražnja zahtjevala je razvijeniju mobilnu infrastrukturu i mogućnost brzog i jednostavnog pretraživanja multimedijских sadržaja. Javlja se veći broj konkurenata zbog fokusiranosti na korisnika, umjesto na tehnologiju.

Komercijalna upotreba 3G mreže započinje 2001. godine u Japanu. Svjetska organizacija telekomunikacijskih distributera (ITU) standardom IMT-2000 određuje uvjete koje svaka 3G mreža treba zadovoljiti. UMTS (*eng. Universal Mobile Telecommunication Systems*) predstavlja nadogradnju na već poznati GPRS. Brzina prijenosa podataka ostvaruje do 384 Kbps što je uspoređujući s početnom brzinom GPRS sustava od 56 Kbps značajan iskorak.

Oprema 3G mobilne mreže je naprednija i skuplja od prethodnih mreža zbog čega je dolazilo do porasta cijena za korištenje 3G mreže. Visoke cijene opreme su razlog i zašto su neke zemlje odugovlačile s izgradnjom infrastrukture za uvođenje 3G mreže.

U mnogim zemljama, 3G mreže ne koriste iste frekvencije koje i 2G zbog čega su operateri morali izgraditi u potpunosti novu mrežnu infrastrukturu i kupiti prava za nove frekvencije. Izuzetak su SAD gdje je 3G mogao funkcionirati na istim frekvencijama kao i ostale usluge<sup>5</sup>

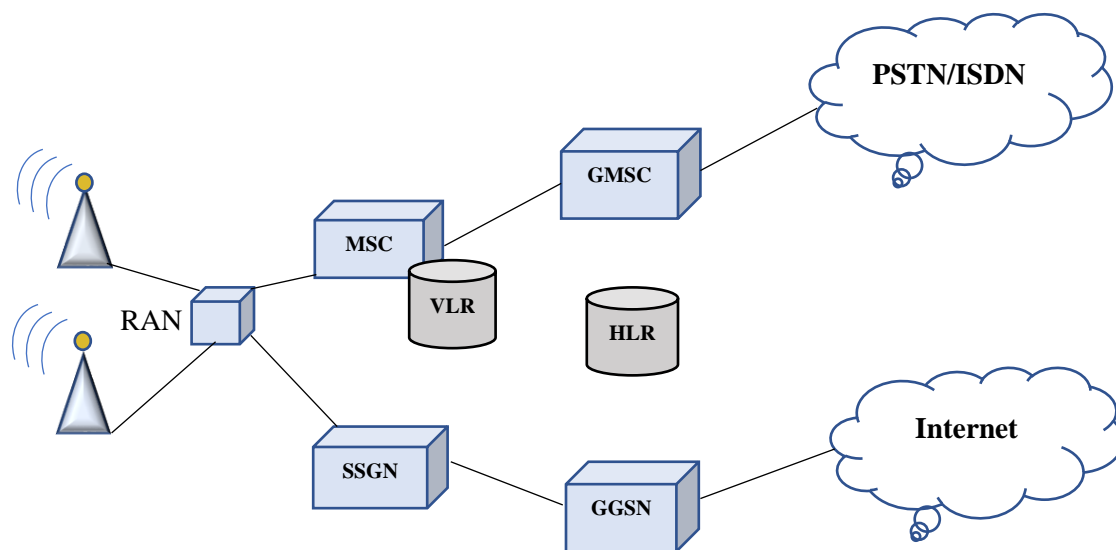
HSDPA (*eng. High-Speed Downlink Packet Access*) i HSUPA (*eng. High-Speed Uplink Packet Access*) se često svrstavaju u 3.5G. Razlog tome je sve veći broj korisnika koji preuzima sadržaj preko interneta ili zbog pojave Cloud Computinga objavljuje sadržaj na internetu. Brzina koju 3.5G ostvaruje kreće se oko 2 Mbps zbog čega mnogi smatraju da nije jednako uspoređivati s 3G, ali i nedovoljno da bi bio 4G.

---

<sup>5</sup> Gupta P (2013): Evolvement of mobile generations: 1G to 5G, str. 153

Razvoj HSPA+ označava razvoj 3.75 mobilne mreže koja ostvaruje još veće brzine, ali i optimizira performans čime se povećavaju kapaciteti i smanjuje kašnjenje.

Mobilna generacija 3G ostvaruje bolje rezultate u usporedbi s 2G zbog bolje kvalitete, bržeg prijenosa mogućnosti uspostave međunarodnih poziva brže i jeftinije, pristupu kompleksnijim aplikacijama poput GPS-a i pretraživanje sadržaja na internetu.



**Slika 2: Princip rada 2G i 3G mobilnih mreža**

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Architecture-of-2G-3G-mobile-networks\\_fig1\\_228541052](https://www.researchgate.net/figure/Architecture-of-2G-3G-mobile-networks_fig1_228541052)

## 2.5. Mobilne mreže četvrte generacije (4G)

Sve brži razvoj tehnologije zajedno s rastućim zahtjevima korisnika dovela je do nove generacije mobilnih mreža. Četvrta generacija (4G) pokazala se kao logičan korak naprijed u nezaustavljivom razvoju telekomunikacijskih tehnologija.

Sve je počelo s LTE (*eng. Long Term Evolution*) standardom. Za razliku od prethodnih generacija, LTE je predstavljao globalni standard s jasno izraženim specifikacijama koje određuju što je potrebno da bi operater mogao reći da pruža 4G uslugu korisnicima. Prvi put je implementiran



2009. godine. Drugi rašireni standard bio je WiMAX koji se implementirao 2007. godine ali nije zadovoljavao sve specifikacije koje su bile zadane od strane ITU-R-a.

Mnogi danas nazivaju LTE 4G mrežom što je pogrešno. Prva verzija 4G mreže naziva se LTE-4G zato što nisu ostvareni svi uvjeti da bi se ta verzija nazivala 4G mrežom. Najveća mana bila je ostvarivanje daleko nižih brzina od onih koje su potrebne za 4G mrežu. S druge strane, LTE-4G pokazao se kao značajan iskorak naspram 3G mobilne mreže. Zbog navedenog, ova verzija 4G mreže često se naziva 3.9G generacija mobilne mreže.

Radi navedenih poteškoća, 2009. godine 3GPP je razvio LTE-A (LTE-Advanced) koji ostvaruje očekivane brzine od 1Gbit/s. Odobren je 2012. godine kao standard prikladan za 4G mrežu. Naziva se još i IMT Advanced. Značajno za 4G mobilnu generaciju je prestanak korištenja kanala, terminala i čvorova koji se zamjenjuju uvođenjem IP mreža.

Brzine se kreću oko 1 Gbit/s za preuzimanje sadržaja i 500 Mbit/s za upload, ali to uvelike ovisi o operateru koji pruža uslugu, geografskoj poziciji i veličini grada u kojem se korisnik nalazi.

Mobilna mreža 4G pokazala se puno jeftinijom od 3G mreže zato što se može nadograditi na infrastrukturu postojeće mobilne mreže bez implementiranja dodatne opreme i otkupa dodatnog dijela frekvencijskog spektra<sup>6</sup>.

Četvrta generacija mobilnih mreža predstavlja značajno poboljšanje u usporedbi s trećom. Brža, jednostavnija i sigurnija mobilna mreža koja pruža korisnicima veće mogućnosti poput video poziva, HD kvalitetu videozapisa i fotografija, prijenos velikih količina podataka i većeg broja kompleksnijih aplikacija.

---

<sup>6</sup> Khan A. (2009): 4G as a next generation mobile network, str 336.

**Tablica 1: Usporedba brzina tokom razvoja generacija mobilnih mreža**

Oznaka	Generacija	Standard	Maksimalna brzina preuzimanja	Maksimalna brzina uploada
2G	2G	GSM	14,4 Kbps	14,4 Kbps
G		GPRS	53,6 Kbps	26,8 Kbps
E		EDGE	236,8 Kbps	59,2 Kbps
3G	3G	UMTS	384 Kbps	384 Kbps
H		HSPA	14,4 Mbps	5,76 Mbps
H+		HSPA+	168 Mbps	22 Mbps
4G	4G	LTE	100 Mbps	50 Mbps
4G		LTE-A	1 Gbps	500 Mbps

Izvor: <https://www.pcsteps.com/10751-mobile-internet-e-3g-h-plus-4g-mobile-network/>

### 3. Peta generacija mobilnih mreža (5G)

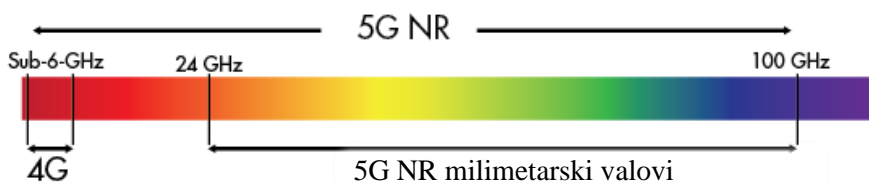
Nadolazeća 5G generacija predstavlja revoluciju u svijetu telekomunikacija. Uvode se nove tehnologije koje se po prvi puta pojavljuju i značajno mijenjaju način na koji se shvaćaju mobilne mreže. Razlozi za potrebu uvođenja nove generacije su mnogi, a pogodnosti kojima će takav iskorak rezultirati još veće. Po prvi puta upoznajemo koncepte poput Masivnog MIMO-a (*eng. Massive MIMO*), IM-a (*eng. Interference Management*), dijeljenja spektra (*eng. Spectrum Sharing*), Gustih mreža (*eng. Ultra Dense Networks*), Dupleks radija, Malih ćelija i ostalih inovativnih tehnologija koje će pružati korisnicima do sto puta veće brzine, značajno smanjiti latenciju odnosno vrijeme čekanja, omogućiti Internetu stvari (*eng. Internet of Things*) da ostvari svoj puni potencijal uključujući i samovozeće automobile.

### 3.1. Milimetarski radiovalovi

Velika razlika između svih prethodnih generacija i nadolazeće je spektar na kojem 5G djeluje. Jedan od važnijih razloga zašto se uvodi 5G mreža je zasićenost trenutnog spektra prethodnih mobilnih generacija. Broj korisnika i novih uređaja koji se priključuju je sve veći zbog čega se smanjuje preostali prostor za korištenje mobilnih mreža. Osim težine održavanja kontrole spektra, dovodi se u opasnost i sigurnost frekvencija koje koriste službe poput vojske, sigurnosno-obavještajnih službi i ostalih organa reda kojima je izuzetno važna neometana i privatna komunikacija.

Trenutno sve mobilne generacije operiraju na frekvencijama do 6 GHz-a jer se pretpostavljalo da je to dovoljno prostora za sve korisnike i njihove uređaje. Osim toga, valne duljine poviše navedene razine su nestabilnije i nemaju visok doseg što zahtjeva dodatnu opremu i održavanje infrastrukture. Manji radiovalovi teže zaobilaze prepreke poput zidova, stabala pa čak i lošeg vremena. Zbog svega navedenog, odlučeno je izbjegavati visoke frekvencije i zadovoljiti se spektrom do 6 GHz-a.

Dolaskom nove 5G generacije mobilne mreže, operateri se odlučuju za značajno veće proširenje opsega operiranja mobilne mreže. Milimetarski radiovalovi (*eng. mm Waves*) imaju valnu duljinu od 1 mm do 10 mm i zauzimaju područje od 30 GHz-a do 300 GHz-a.



**Slika 4: Područje spektra koji zauzima 5G mobilna mreža**

Izvor: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/07/12/upcoming-fcc-vote-will-pave-path-5g-advancements-mobilize-mmwave>

Frekvencije milimetarskih valova dozvoljavaju veću alokaciju frekvencijskog opsega što rezultira bržim prijenosom podataka. Milimetarski spektar bi trebao omogućiti teleoperaterima značajno povećanje frekvencijskog opsega od trenutnih 20 MHz kojim se služe 4G korisnici<sup>7</sup>.

Spektar milimetarskih valova donosi razne prednosti poput:

- Mogućnost prijenosa veće količine podataka odjednom
- Velike brzine prijenosa podataka
- Povećana sigurnost prenesenih podataka
- Vrijeme kašnjenja (latencija) do 1 ms
- Oslobođenje frekvencijskog spektra

Milimetarski valovi donose i određene poteškoće:

- Izgradnja dodatne infrastrukture
- Poskupljenje opreme
- Nizak domet
- Osjetljivost na prepreke
- Osjetljivost na vremenske promjene

---

<sup>7</sup>Theodore S. Rappaport (2013.): Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!

### 3.2. Dijeljenje frekvencijskog spektra

U početku se planiralo koristiti isključivo milimetarske radiovalove za uspostavljanje 5G mreže, ali se ustanovilo da je ta opcija nepraktična i preskupa. Kao odgovor na taj izazov, odlučilo se koristiti sve slobodne frekvencije bez obzira kojoj mobilnoj generaciji pripada. Takav pristup omogućuje korištenje već postojeće infrastrukture 4G mreže uz izgradnju dodatne za 5G na mjestima gdje se 4G ne koristi ili su kapaciteti već do kraja ispunjeni. S vremenom će 5G mobilna mreža sve više zamjenjivati prethodnu zbog čega će se postojeći kapaciteti oslobađati sve dok 5G ne prevlada.

Druga prednost ovakvog pristupa je mogućnost promjene mobilne mreže ovisno o dostupnosti i brzinama. U slučaju da 5G nema dobru pokrivenost u određenom području, uređaji će se automatski prebaciti na 4G sve dok 5G ne bude opet dostupan i funkcionalan. Na taj način korisnicima neće doći do prekida veze, a mnogi neće ni primijetiti da se mobilne mreže izmjenjuju.

Pametni radio (*eng. Cognitive radio*) je uređaj koji će skenirati radijski spektar i tražiti neiskorišteni prostor kojim bi signal mogao neometano putovati do korisnika. Radijski spektar se dijeli na licencirani dio koji pripada određenom operateru, dio spektra koji pripada nekom operateru ali ga on ne koristi i nelicencirani spektar koji je slobodan za upotrebu.

#### Licencirani spektar    Zajednički spektar    Nelicencirani spektar



**Slika 5: Podjela radijskog spektra**

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

Metode za dijeljenje frekvencijskog opsega možemo podijeliti u 3 kategorije, bazirane po prioritetima pristupanju u radijski spektar, prema<sup>8</sup> :

- Horizontalno dijeljenje frekvencijskog opsega: svi terminalni uređaji imaju jednaka prava pri pristupu spektru
- Vertikalno dijeljenje frekvencijskog opsega: primarni korisnici dodjeljuju prioritete pristupa spektru
- Hijerarhijsko dijeljenje frekvencijskog opsega: napredna opcija vertikalnog dijeljenja spektra

Dijeljenje spektra može biti posebno korisno u ruralnim područjima zbog toga što teleoperateri mogu stvarati široke kanale, umjesto oslanjanja na individualne i ograničene dijelove spektra. Ovakav pristup također podržava brzu 5G mobilnu mrežu koja operira u milimetarskom frekvencijskom opsegu što omogućava operaterima korištenje tuđeg dijela spektra kad nije zauzet. Time se pruža mogućnost da operateri kupuju prava korištenja tuđeg dijela spektra umjesto da izgrađuju vlastitu infrastrukturu u malim i/ili nedostupnim područjima<sup>9</sup>.

### 3.3 Masivni MIMO

Masivni MIMO (*eng. Massive MIMO*) je nova tehnologija čiji akronim MIMO znači multiple input, multiple output. Masivni MIMO koriste adaptivne antene kako bi značajno povećao performans mijenjajući smjer i način odašiljanja signala kao odgovor na korisničke potrebe i zahtjevno okruženje u kojem se nalaze kao i vremenske neprilike koje značajno utječe na signal<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> Maček S. (2016): Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 23.

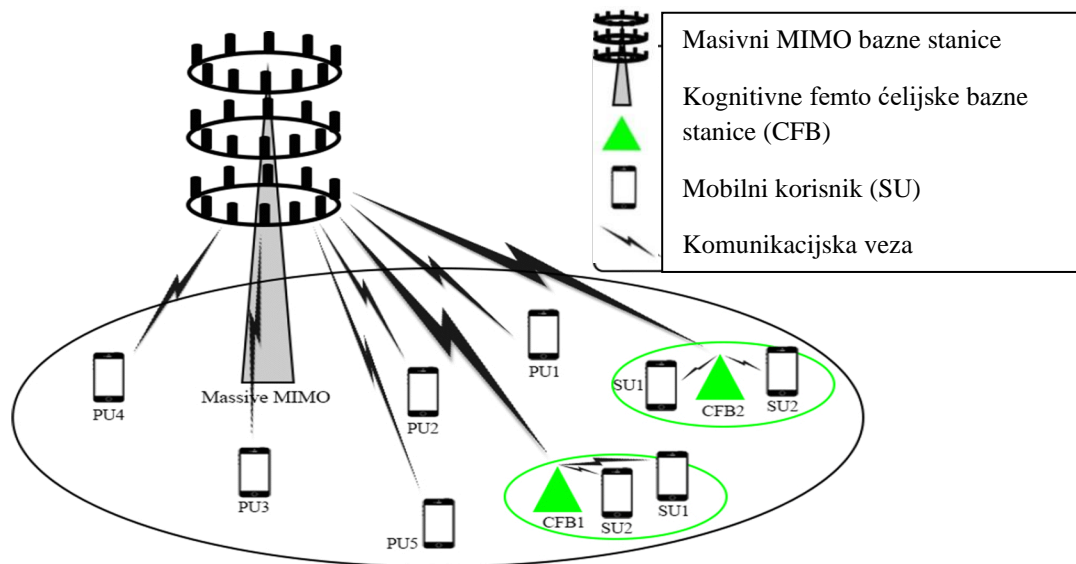
<sup>9</sup> <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2018/11/Spectrum-Sharing-Positions.pdf>

<sup>10</sup> <https://www.cbronline.com/answer/what-is-massive-mimo>

Radiovalovi niskih frekvencija poput gore navedenih milimetarskih valova zahtijevaju veće antene za odašiljanje i primanje signala za razliku od radiovalova visokih frekvencija koji se uspješno provode kroz manje antene. Zaključno, milimetarski valovi omogućuju veliki broj odašiljačkih i prijemnih antena istovremeno implementirane na ćeliji ili panelu.

Starije tehnologije ograničavale su broj antena na jednom prijemniku na otprilike deset dok će u 5G mobilnoj mreži biti isti prijemnik moći sadržavati u prosjeku stotinu antena čime će jedan prijemnik moći pokriti značajno veći broj korisnika u isto vrijeme. Antene na baznoj stanici su u mogućnosti usmjeravati horizontalne i vertikalne snopove zraka te na taj način masivni *MIMO* poboljšava spektralnu i energetska učinkovitost.

MIMO sistemi sastoje se od većeg broj antena koje su ujedno i primatelji i odašiljači. Implementacijom većeg broja antena, dobiva se veća razina slobode (zajedno s vremenskim i frekvencijskim dimenzijama) u bežičnim kanalima te može se pohraniti više informacija. Time se postiže značajno poboljšanje na području performansi, pouzdanosti, efikasnosti i očuvanju energije<sup>11</sup>.



**Slika 6: Princip rada masivnog MIMO-a**

Izvor: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-019-06179-3>

<sup>11</sup> Cheng-Xiang Wang (2014): Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks, str. 124

Masivni MIMO donosi mnoge prednosti i smatra se jednom od ključnih tehnologija za rad 5G mobilne mreže. Neke od prednosti su poboljšanje energetske učinkovitosti za sto puta te kapaciteta za najmanje deset puta, jeftinijom opremom koja će zamijeniti kablove, smanjene vremena odaziva odnosno latencije i povećava sigurnost signala sprječavajući namjerne upade i ometanja.<sup>12</sup>

### 3.4. Beamforming

Vrijedi spomenuti i takozvanu Beamforming tehnologiju koja je usko vezana uz Masivni MIMO.

Beamforming je primjena elemenata višestrukog zračenja koji emitiraju isti signal na identičnim valnim duljinama i fazama koji kombinirano čine antenu s dužim, ciljanim tokom formiranim zbog konstantnog pojačavanja radiovalovima u određenom smjeru. Ovaj koncept se prvi put primijenio 1906. godine u svrhu preookeanskog radijskog komuniciranja<sup>13</sup>.

Beamforming je često popraćen Beam steeringom/Beam trackingom. Pomoću Beam steeringa, prijenos podataka se dinamično adaptira vertikalno i horizontalno korištenjem usmjeravajuće dvodimenzionalne antene. Pomoću Beam steeringa, usmjereni snop odnosno snažniji radiosignal s velikom količinom podataka dostavlja se na značajno udaljenije lokacije koristeći manje energije. Rezultat je spektralna efikasnost i optimalnija iskorištenost kapaciteta<sup>14</sup>. Na dobitku su operateri koji ne trebaju implementirati dodatnu opremu i trošiti energiju, ali i korisnici zbog boljeg signala i stabilnije mreže.

U 4G mobilnoj generaciji, bežični signal bi putovao u svim smjerovima pokrivajući veliki prostor što bi uzrokovalo sve većim gubitkom snage.

Beamforming tehnologija omogućuje da prijenos signala između korisnika i baze bude direktan. Može se usporediti s laserskim ciljanjem korisnika umjesto nepotrebnog pokrivanja velikog

---

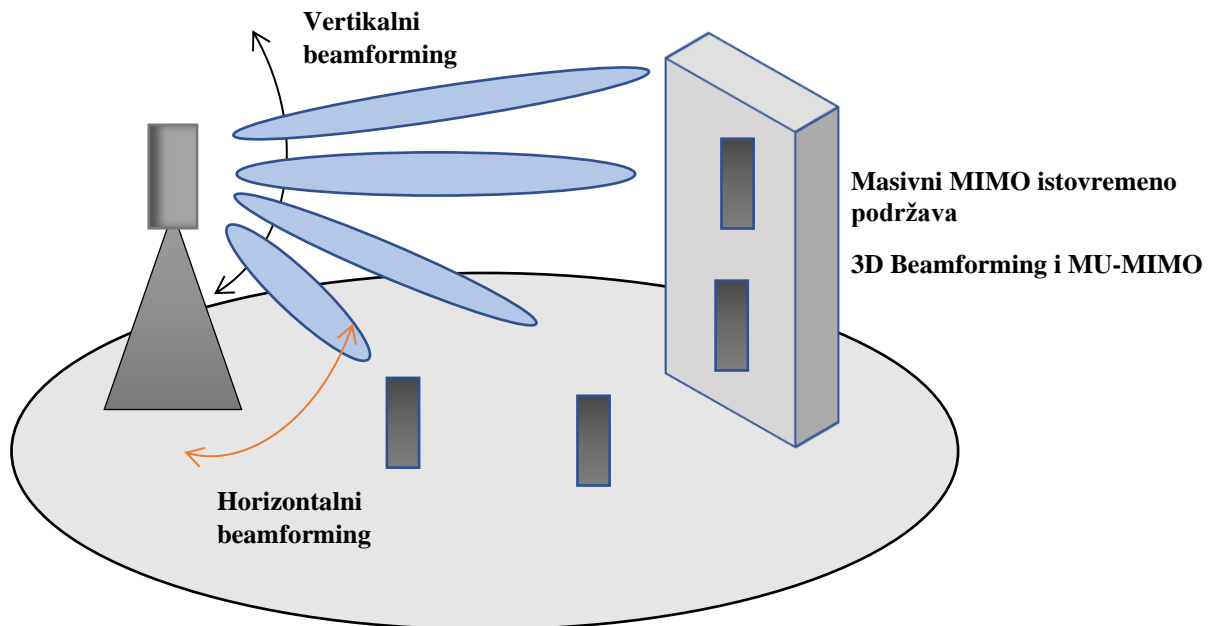
<sup>12</sup> Vukelić V. (2016): Pokretne mreže pete generacije – pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, str. 14.

<sup>13</sup> <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>

<sup>14</sup> <https://www.ericsson.com/en/networks/trending/hot-topics/5g-radio-access/beamforming>



prostora. Veća gustoća projektiranog signala rezultira optimalnijim korištenjem energije i bržim prijenosom podataka što dovodi do kvalitetnije usluge za korisnike.



**Slika 7: Odašiljanje signala pomoću Beamforming tehnologije**

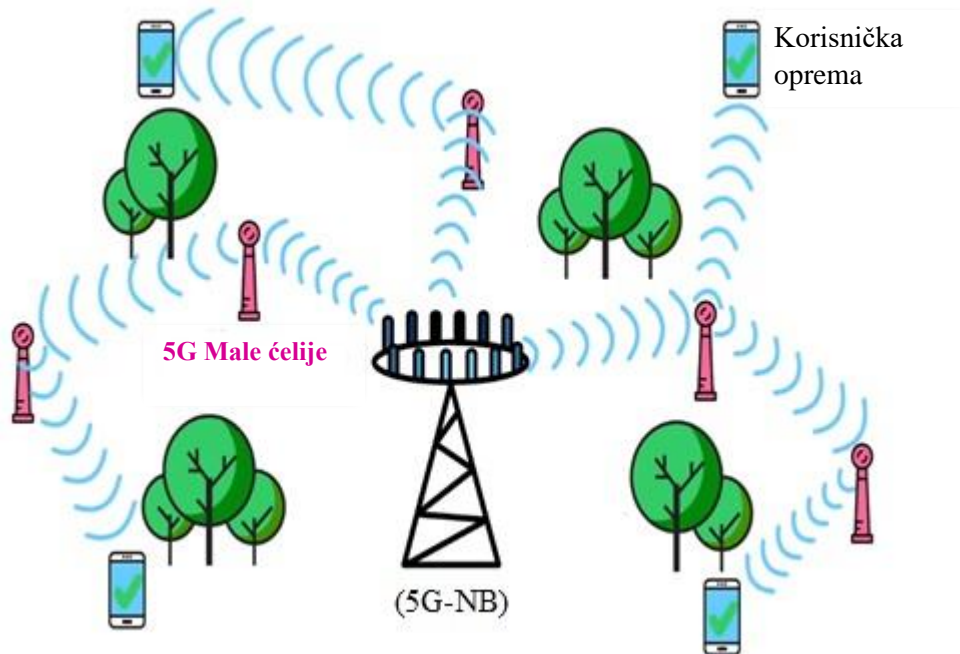
Izvor: <https://www.rcrwireless.com/2017/12/04/network-infrastructure/lte/beamforming-massive-mimo-advancing-mobile-networks>

### 3.5. Male ćelije

Milimetarski valovi imaju gore navedene prednosti, ali i mane kao što je sudaranje s česticama u zraku ili reljefnim preprekama na putu do odredišta zbog čega gube na snazi. Da bi se riješio ovaj problem, potrebno je implementirati veliki broj stanica koje sadrže male ćelije kako bi se nadopunile praznine i pojačao signal između stanica i korisnika.

Svaka stanica pokriva dio područja, a broj stanica i udaljenost među njima ovisi o naseljenosti područja. U gusto naseljenom području, udaljenost između stanica može varirati od 10 do 100 metara. U budućnosti će se moći primijetiti sve veći broj takvih stanica po velikim gradovima.

5G male ćelije donose pouzdaniju pokrivenost, bolju spektralnu efikasnost i sveukupno poboljšanje performansa mreže, kapaciteta, ali i jeftinije održavanje<sup>15</sup>.



**Slika 8: Pozicioniranje Malih ćelija**

Izvor: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/5G-Small-Cells-Basics-and-Types.html>

<sup>15</sup> <https://www.qualcomm.com/news/ong/2018/10/15/ubiquitous-5g-experiences-small-cells>

### 3.6. Full duplex

Spektralna efikasnost (SE) mobilnih mreža treba se i dalje unaprjeđivati da bi se mogle prenositi veće količine podataka. Međutim, operativni bežični komunikacijski sustavi se najčešće oslanjaju na half duplex operacije što rezultira opadanjem optimalne funkcionalnosti mobilnih mreža. S druge strane, full duplex tehnologija poboljšava spektralnu efikasnost bežičnih komunikacijskih sustava konstantnim odašiljanjem i primanjem podataka cijelog frekvencijskog spektra<sup>16</sup>

Tehnologija prethodnih mobilnih generacija temeljila se na half duplex sistemu koji je preko mreže spajao dva uređaja preko kojeg se odvijala komunikacija. Half duplex je omogućavao komunikaciju, ali samo u jednom smjeru bez mogućnosti dvosmjerne komunikacije. Odnosno, dok jedan uređaj šalje signal drugom, drugi uređaj treba čekati da se transakcija izvrši prije nego što može početi slati podatke u suprotnom smjeru ili promijeniti frekvenciju.

Full duplex je nova i jedna od ključnih tehnologija 5G mobilne generacije. Omogućuje dvosmjernu komunikaciju što znači da antene mogu istovremeno odašiljati i primati signale bez nepotrebnog čekanja. Ovo rezultira u duplo većim brzinama razmjene podataka od half duplexa.

Rješenje se predstavilo u obliku silicijskih tranzistora koji oponašaju brze prekidače nakrivljujući radiovalove te omogućujući zaobilaženje radiovalova na istoj frekvenciji. Ovakav pristup omogućio je značajno brži prijenos podataka uz manje korištenje kapaciteta.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> Zhang Z. (2015): Full Duplex Techniques for 5G Networks: Self-Interference Cancellation, Protocol Design, and Relay Selection, str. 2

<sup>17</sup> <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-full-duplex-explained>

## 4. Prednosti 5G mreže u svijetu i Republici Hrvatskoj

Od 5G mobilne mreže zahtijevaju se određene karakteristike koje su operateri obećali ispuniti u što kraćem vremenu, a to su<sup>18</sup>:

- brzina prijenosa 1-10 Gbit/s do ruba ćelije
- $\leq 1$  ms kašnjenje
- 1000x širina pojasa po jedinici površine = 1 Tbit/s/km<sup>2</sup>
- 10-100x spojenih uređaja
- 99,999% dostupnost
- 100% pokrivenost
- 90% smanjenja korištenja energije u mreži u odnosu na 2010. godinu
- trajanje baterije do 10 godina za niskonaponske uređaje

S obzirom da su se i do sada teško ispunjavali svi uvjeti u navedenim rokovima, sumnja se da će operateri uspjeti do 2025. godine ispuniti sve uvjete. Najvažniji su prva dva uvjeta, odnosno brzina prijenosa i vrijeme kašnjenja dok su preostalih šest vezani za poslovne odluke poput isplativosti i zahtjevnosti područja na kojem se ćelije trebaju implementirati.

### 4.1 Usluge i aplikacije 5G mreže

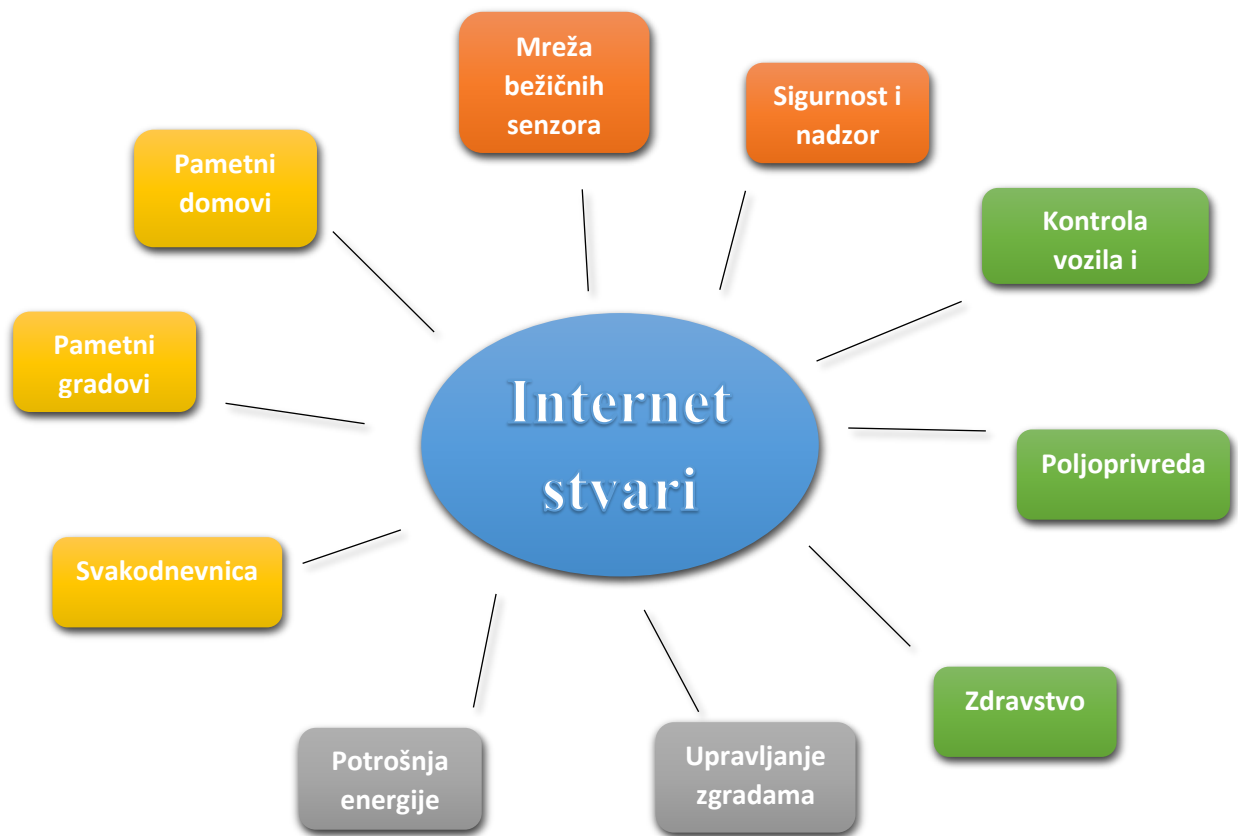
Upravo velika brzina i mala latencija – vrijeme kašnjenja su razlog zbog kojeg se uvođenjem 5G mobilne mreže očekuje nova generacija aplikacija i usluga koje će značajno olakšati svakodnevnicu korisnika i integrirati već postojeće tehnologije u sve aspekte života. Među dugo očekivanim tehnologijama očekuju se Internet stvari, Internet vozila, Internet ljudi, upravljanje udaljenim uređajima i napredni medijski sadržaj poput AR, VR i MR tehnologije.

---

<sup>18</sup> Fundak, D. (2016): 5G mobilni komunikacijski sustavi, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, str. 18.

## 4.2. Internet stvari (eng. Internet of Things – IoT)

IoT je kolekcija ili skup stvari (objekata ili uređaja) koji su dizajnirani da bi bili upravljani te da bi pružali informacije bežičnom vezom preko interneta koristeći najčešće mobilnu aplikaciju za nadzor ili upravljanje<sup>19</sup>. Riječ „stvar“ u nazivu označava da se preko IoT može povezivati bilo kojeg čovjeka, životinju ili neživu stvar koja im svoju IP adresu te mogućnost slanja ili primanja podataka preko mreže bez obzira gdje se nalazio ili nalazila.



**Slika 10: Područja korištenja Interneta stvari**

Izvor: <https://www.scientechworld.com/internet-of-things/iot-solutions/iot-builder>

<sup>19</sup> <https://www.racunalo.com/vodic-za-razumijevanje-internet-stvari-internet-of-things-iot/>

IoT se razvio iz M2M (*eng. machine-to-machine*) komunikacije odnosno uređaja koji se spajaju na druge uređaje putem mreže i bez ljudske interakcije. Za razliku od M2M tehnologije, Internet stvari je povezan u umreženi ekosustav koji prikuplja podatke svih senzora, uređaja i ljudi te ih spaja u cjelinu, analizira i dostavlja krajnjem korisniku ili poduzeću.

Internet stvari nije nova tehnologija, ali dolaskom 5G mobilne mreže očekuje se da će ostvariti svoj puni potencijal. Mogućnost prijenosa velike količine podataka odjednom pri velikim brzinama i izuzetno niskom latencijom je razlog iščekivanja nove generacije mobilne mreže.

Vrijeme odgovora odnosno latencija pokazuje se ključnom karakteristikom potrebnom za funkcionalnu umreženost svih senzora i uređaja u IoT ekosustavu jer rezultira bržim odgovorom na promjene u istom ekosustavu. Također, dobra pokrivenost područja malim ćelijama jamči neometanu komunikaciju i još manju potrebu za ljudskom intervencijom.

Internet stvari pronalazi svoju svrhu u gotovo svim područjima ljudske djelatnosti poput medicine, poljoprivrede, financijskog sektora pa čak i pametnih gradova.

IT sektor vidi dobru priliku u razvoju novih i kreativnih rješenja preko Interneta stvari za dobrobit korisnika i društva. Potrebno je naglasiti da i dalje postoje sigurnosne prijetnje, privatnost korisnika te ograničeni kapaciteti mreže zbog velike količine prenesenih podataka.

### **4.3.Samovozeći automobili**

Samovozeći automobili su jedna od najnovijih i najočekivanijih tehnologija 21. stoljeća. Temelje se na konceptu automobila koje samo raspoznaje okolinu u kojoj se nalazi i kreće se kroz nju uz vrlo malo ili bez ljudske intervencije. Koriste razne senzore za prepoznavanje okoline, kao što su radari, lidari, sonari, GPS, odometrija i jedinice za inercijsko mjerenje. Napredni upravljački sustavi interpretiraju senzorne informacije kako bi prepoznali prikladne puteve za kretanje, prepreke i prometne znakove.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> [https://hr.wikipedia.org/wiki/Autonomno\\_vozilo](https://hr.wikipedia.org/wiki/Autonomno_vozilo)

Dolaskom 5G mobilne mreže ideja o međusobnoj komunikaciji samovozećih automobila, komunikaciji sa semaforima pa čak i predviđanju kretanja automobila u neposrednoj okolini sve više postaje realnost. Nova tehnologija C-V2X mogla bi se implementirati u automobile već od 2022. godine.

Automobili neće samo emitirati svoju lokaciju, brzinu i smjer kretanja što određeni samovozeći automobili već i danas rade, nego će se usklađivati sa semaforima pronalazeći brže rute i izbjegavajući zastoje. Komunikacija s ostalim automobila olakšati će izbjegavanje sudara i optimizaciju potrošnje goriva.

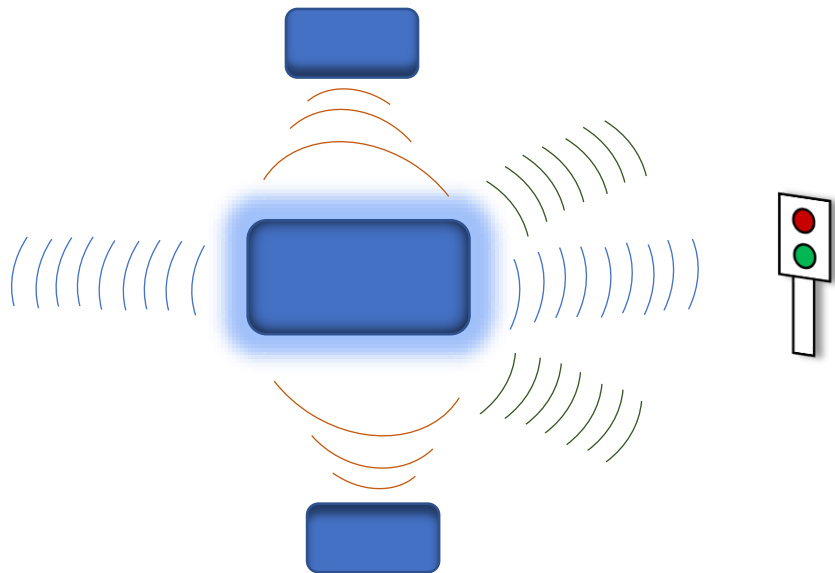
5G mobilna mreža komplementira C-V2X i pruža nove mogućnosti poput višestruke komunikacije automobila u blizini s opcijom usklađivanja redoslijeda kretanja u raskrižjima. Svojstvo latencije odnosno vremena odgovora najviše je zaslužno za revoluciju u automobilskoj industriji uvođenjem 5G mreže. Predviđeno smanjenje latencije sa 70 milisekundi na manje od 1 omogućuje izuzetno brzu komunikaciju među samovozećim automobilima<sup>21</sup>.

Ultimativni cilj samovozećih automobila je u potpunosti automatizirana vožnja bez obzira na zahtjevne uvjete u okruženju, bez ljudske intervencije- Ovo je najveći izazov, posebice u urbanim područjima u kojima vlada visoka kompleksnost s obzirom na nepredvidljivost drugih vozača i gustoću prometa<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> <https://www.cnet.com/news/5g-could-make-self-driving-cars-smarter-commutes-safer/>

<sup>22</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916309432>



**Slika 13: Komunikacija automobila s okolinom**

Izvor: <https://www.pioneeringminds.com/5g-can-fast-track-self-driving-cars/>

5G također omogućuje veći prijenos podataka od 4G mreže što dozvoljava automobilima dijeljenje senzornih podataka poput slike okruženja ostalih automobila ili poteškoća na cestama kao što je zaleđena cesta.

Države poput Kine, Južne Koreje i Japana razmatraju uvođenje C-V3X tehnologije kroz iduće desetljeće kao standard u automobilskoj industriji, a proizvođač automobila Ford najavio je da će svi automobili proizvedeni od 2022. godine imati implementiran C-V2X.

#### **4.4. 5G mobilna mreža u VR i AR tehnologiji**

AR tehnologija omogućuje nam da putem aplikacije kroz zaslon nekog uređaja, najčešće mobilnog telefona, vidimo elemente koji ne postoje u stvarnom životu. Ti elementi proširuju stvarnost oko nas, ali samo ako je gledamo kroz zaslon. Aplikacija omogućuje gledanje bez mogućnosti mijenjanja elemenata koje vidimo, tj. bez mogućnosti ikakve interakcije s njima.

Za razliku od proširene stvarnosti (AR), za VR tehnologiju potrebno je koristiti naočale kroz koje ne vidite ništa oko sebe, već samo virtualno stvoreni svijet. U tom trenutku taj svijet koji gledate



postaje vaša virtualna stvarnost, u kojoj interakcija s elementima koje vidite u aplikaciji nije moguća ili je pak moguća tek u minimalnoj mjeri – možete, primjerice, otvarati vrata, pomicati predmeti, povećavati prikaz i slično.

MR tehnologija spaja AR i VR u miješanu stvarnost jer omogućuje i interakciju s elementima koji se pojavljuju. Pomoću te tehnologije mogu se mijenjati elementi koji se nalaze u prikazima, graditi ih i stvarati nove, a sve to u stvarnom vremenu.

Pouzdana 5G mobilna mreža pomoći VR i AR tehnologiji da se razvije na sasvim novoj razini zato što i VR i AR tehnologija zahtijevaju kvalitetnu mrežu s manjom latencijom i većom dosljednosti ako žele napredovati. U suštini, 5G je nužnost za ovu industriju.

Minimalno vrijeme odgovora za kvalitetan doživljaj VR tehnologije je 50 milisekundi, a korisnici često osjećaju mučnine i vrtoglavicu ako je vrijeme odgovora poviše 20 milisekundi. 5G mobilna mreža garantira vrijeme čekanja manje od 1 milisekunde što zvuči obećavajuće za kvalitetno korisničko iskustvo. Niska latencija omogućit je neometani i prirodni doživljaj koji je izuzetno važan za AR i VR iskustvo<sup>23</sup>.

AR, VR i MR tehnologije se često pokazuju značajno osjetljive na bilo kakve smetnje u mreži koje mogu rezultirati negativnim iskustvom za korisnika.

5G mreža pokazala se izuzetno dobra u sinkronizaciji i koordinaciji velikog broja uređaja odjednom uključujući senzore na opremi, kamere i svjetla. Ponekad je potrebno uskladiti tisuće senzora i efekata kako bi se dobilo željeno VR iskustvo.

Manjak adekvatne mobilne mreže jedan je od ključnih razloga zašto ove tehnologije sporo napreduju i imaju poteškoće u proboju tržište. 5G mobilna mreža će zasigurno ubrzati razvoj zbog većeg kapaciteta prijenosa podataka, male latencije i manjih troškova opreme.

---

<sup>23</sup> <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf>

Navedene tehnologije pronašle su svoju upotrebu u raznim područjima ljudske djelatnosti poput:

- Obrana

Koristi se za vježbanje sposobnosti i različitih strategija na simulatorima i unutar posebno kreiranih virtualnih situacija koje nalikuju na vojne situacije.

- Medicina

Mnogi liječnici, ali i studenti medicine i stomatologije, već sad imaju mogućnost učiti i vježbati operacijske zahvate u sigurnom virtualnom okruženju. Tehnologija poput ove također očekuje značajan iskorak nakon 5G mreže zato što će omogućavati izvođenje kompliciranih operacija na daljinu i povećati automatizaciju pri kirurškim zahvatima.

- Edukacija

Od djece koja mogu „vježbati“ društvene kontakte, preko učenika i studenata koji žele posjetiti slavne muzeje i galerije pa do simulacija i vježbanja upravljanja uređajima ili vozilima u autoškolama ili u edukaciji pilota – u svim se tim područjima primjenjuju VR, AR i MR tehnologije.

- Sport

Uz pomoć ovih tehnologija vrlo se jednostavno može analizirati estetika performansi, ali i provesti dubinska analiza tehnike. Također, u nekim se videoigricama već se sada može gledati sportska utakmica uživo pa se tako korisnicima omogućuje uživanje uz dojam kao da su na tribinama.

## 5. Potencijalne prijetnje 5G mreže za svijet i Republiku Hrvatsku

Dolaskom nove tehnologije poput 5G mobilne mreže koja se značajno razlikuje od prethodnih, dolaze i nove prijetnje. I dalje se najveći problemi javljaju na području sigurnosti podataka i zaštite identiteta, ali javljaju se i brige korisnika o nedovoljnoj istraženosti utjecaja nove mobilne mreže na zdravlje građana i ekosustava u kojem će se 5G mreža koristiti. U ovom dijelu rada raspravljat će se koliko su takve prijetnje opravdane i koliko su doista ozbiljne.

### 5.1. Sigurnost

U današnje vrijeme, sve više uređaja ima mogućnost spajanja na Internet i sudjelovanja u razmjeni podataka s ostatkom mreže. Od servera velikih IT korporacija do automobila i hladnjaka otvaraju se mogućnosti za neželjene upade i krađu povjerljivih informacija.

Nova tehnologija donosi i nove sigurnosne prijetnje. Neki od razloga zbog kojih 5G mreža može predstavljati sigurnosni rizik<sup>24</sup>:

- Radi se o novoj tehnologiji čije su komponente nedovoljno testirane
- 5G omogućuje kretanje i pristup velikoj količini podataka što rezultira širom pozadinom za izvođenje napada
- Dolazi do veće ovisnosti naspram 4G mreže u pogledu osjetljivih podataka kao što je primjena u zdravstvu.

Sigurnosni napadi se mogu podijeliti na pasivne i aktivne. Pasivni napad je pokušaj dolaska do korisnih informacija od korisnika, bez da se utječe na samu mrežu. Cilj pasivnih napada je kršenje povjerljivosti i privatnosti korisnika. Popularni pasivni napadi u mobilnoj mreži su prisluškivanje i analiza prometa. Za razliku od pasivnih napada, aktivni napadi mogu uključivati i promjene

---

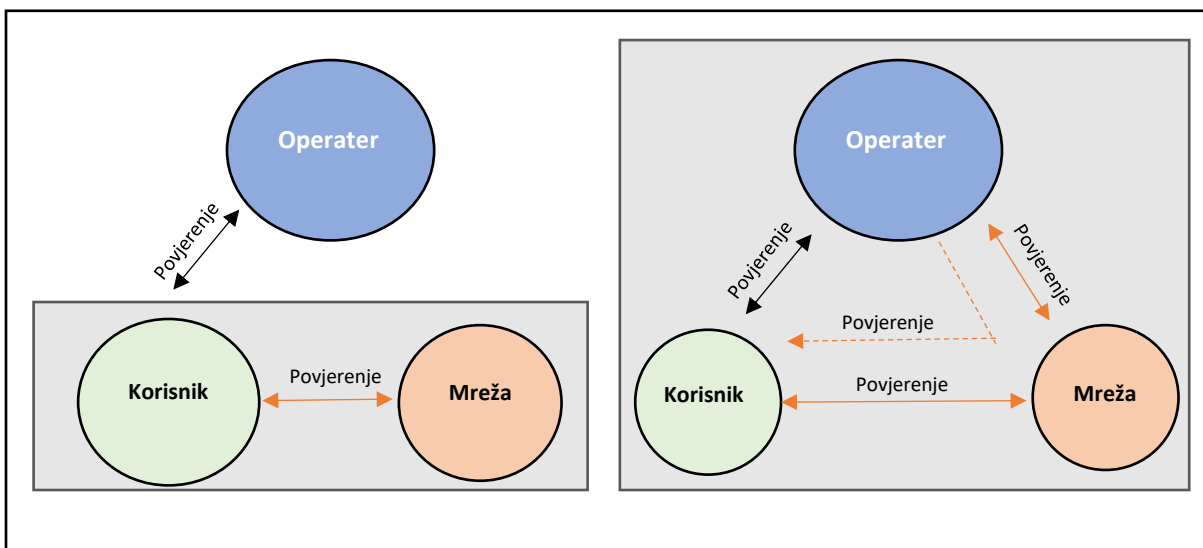
<sup>24</sup> David Basin et al. (2018): A formal analysis of 5G authentication, str. 4, 5 i 6

povjerljivih podataka ili prekidanje legitimne komunikacije. Tipični aktivni napadi uključuju MITM napad, DoS napad i DDoS napad.<sup>25</sup>

Najučinkovitiji oblici obrane od sigurnosnih napada su:

- Provjera autentičnosti

Provjere se mogu provoditi provjerom osobe i provjerom poruke na način da se provjerava mreža, pružatelj usluge ili oboje. Više neće biti dovoljno samo provesti enkripciju poruke metodom simetričnog ključa, nego će biti nužno vršiti provjeru i nad posrednikom odnosno pružateljem usluge.



**Slika 15: Novi oblik sigurnosti korisnika mreže u 5G mobilnoj mreži**

Izvor: <https://www.informationsecuritybuzz.com/articles/security-challenges-next-generation-5g-mobile-networks/>

- Povjerljivost

Kao što je gore navedeno, metoda simetričnog ključa koristila se u prethodnim generacijama kako bi se onemogućio napad na osobne podatke poput financijskih i zdravstvenih podataka,

<sup>25</sup> Matijašević M. (2018): Sigurnosni zahtjevi i izazovi u 5G pokretnim mrežama, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, str. 14.

ali to više nije dovoljno. Među novim metodama osiguravanja povjerljivosti koristi se povećanje jačine signala kako bi se osiguralo da signal dođe do željene destinacije, umjetni šum i obrada signala.

- Dostupnost

Dostupnost služi da korisnicima signalizira može li se mreža koristiti i gdje. Napadači nastoje ometati signal kako bi otežali ili spriječili mogućnost komunikacije u mreži. Na taj način pruža se mogućnost preopterećenja mreže do razine otkazivanja.

- Integritet

Provjerom autentičnosti poruke utvrđuje se legitimnost iste. Nastoji se utvrditi da se poruke od pošiljatelja nije mijenjala ni duplicirala. Dupliciranje poruke može dovesti do nepotrebnog trošenja kapaciteta i preopterećenja mreže.

## **5.2. Geopolitička situacija**

Od prve generacije mobilnih mreža do posljednje, države koje su bile vodeće u razvoju tehnologije su uživale pogodnosti razvijenih inovacija. Biti lider razvoja 5G mobilne mreže rezultira otvaranjem novih industrija, zapošljavanjem nove radne snage, ali i prodajom potrebne opreme za implementaciju 5G mreže ostatku svijeta. Osim uspostavljanja tehnološke dominacije i ostvarivanja značajnog profita, prodaja opreme omogućuje postavljanje vlastitih uvjeta o načinu korištenja ove nove tehnologije.

Trenutno se vodi trgovinski rat između dvije vodeće zemlje u razvoju 5G mobilne mreže, a jedan od glavnih razloga je i nastojanje da se stekne vodstvo u inovacijama vezanim za 5G mrežu. SAD strahuje da kineske telekomunikacijske korporacije prodaju opremu koja ima značajne sigurnosne propuste i omogućuje špijunažu nad korisnicima i državnim službenicima kao i krađu povjerljivih podataka.

Bez obzira na prijetnje sankcijama poput prestanka razmjene sigurnosnih informacija država partnera SAD-a poput Njemačke i Ujedinjenog Kraljevstva, većina razvijenih država ne može si priuštiti odugovlačenje vremena i odgađanje implementacije 5G mreže.

Razlozi koji se navode zbog čega se Kina naziva liderom u razvoju 5G mreže su visoka ulaganja državnih fondova za razvoj inovacija i omogućavanje vodećim poduzećima monopolističko poslovanje na domaćem tržištu.

Operateri u Republici Hrvatskoj pretežito nabavljaju opremu za 5G mrežu od Švedskog poduzeća Ericsson koji je sklopio ugovore s T-Mobile i A1.

#### Broj lokacija na 10 000 stanovnika



**Slika 16: Broj lokacija na kojima se pruža 5G mreža u omjeru na 10 000 stanovnika**

Izvor: <http://gytanalytics.com/usa-lagging-behind-5g-deployment/>

Vodstvo u takozvanoj „5G utrci“ utječe na izravnu kompetitivnost u opremi i industriji komunikacijskih usluga, ali također indirektno i na ekonomski rast koji 5G omogućava. Ovo su zasebna, ali povezana razmatranja. Prvo treba uzeti u obzir indirektnu korist 5G mobilne mreže: Ova tehnologija je zamišljena kao platforma za značajno unaprjeđenje kompetitivnosti i inovativnosti u svakoj industriji u kojoj se primjenjuje, od proizvodnje i transporta do zdravstva i

poljoprivrede. Drugačije rečeno, snaga državne 5G infrastrukture će se signifikantno odraziti na mogućnost poduzeća da razvijaju inovativne proizvode i usluge što će u konačnici imati snažan utjecaj na sveukupnu ekonomiju države<sup>26</sup>.

### **5. 3. Utjecaj na zdravlje**

Sve više se u svijetu špekulira o mogućnosti negativnog utjecaja na zdravlje novih tehnologija koje se javljaju u 5G mobilnoj mreži. U posljednje vrijeme može se primijetiti na društvenim stranicama i medijima upozorenja o štetnosti radijacije koja može oštetiti DNK kod pojedinca i uzrokovati rak, ubrzano starenje, uništavanje metabolizma pa čak i korištenje 5G mreže kao oružje. Ovakve objave i članci pozivaju stanovnike na prosvjede i uništavanje implementirane 5G infrastrukture. Nerijetko se i citiraju istraživanja priznatih organizacija poput Svjetske zdravstvene organizacije.

Ovakva reakcija nije toliko iznenađujuća i neočekivana. Većina novih i kompleksnih tehnologija su također izazivale strah javnosti. Pojava električne bila je popraćena velikim prosvjedima i pozivima na uništavanje infrastrukture. U mnogim gradovima uništavala se gradska rasvjeta i sprječavao napredak.

Kao najveći razlog zabrinutosti navodi se frekvencija na kojoj će 5G djelovati odnosno milimetarski radiovalovi. Zračenje se dijeli na ionizirajuće i neionizirajuće zračenje.

Za razliku od ionizirajućeg zračenja koje ima dovoljno energije da uzrokuje promjene u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre, neionizirajuće zračenje ne posjeduje dovoljno energije po kvantu da može izazvati ionizaciju odnosno da ukloni elektron iz atoma ili molekule. U kategoriju emitacije neionizirajućeg zračenja spadaju tehnologije kao što su dalekovodi, radio, Wi-Fi i milimetarski radiovalovi. Emisija iz mobilnih telefona, uključujući i 5G tehnologiju, nije dovoljno snažna da prouzrokuje bio kakvu štetu. Ova neionizirajuća radijacija u najgorem slučaju može

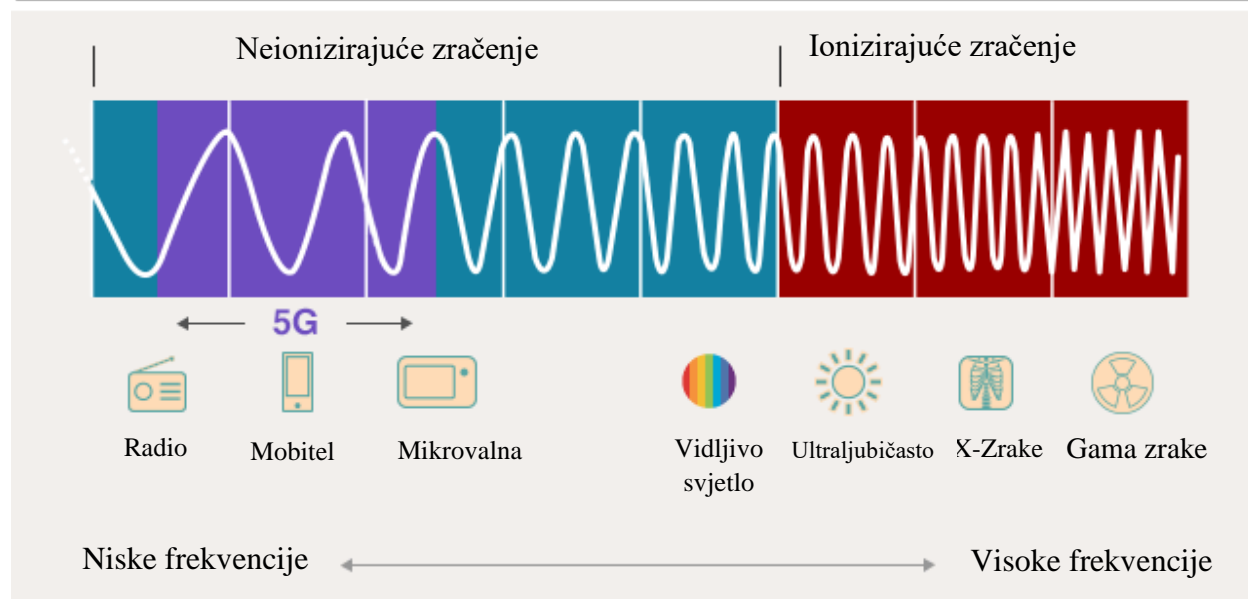
---

<sup>26</sup> Doug Brake (2018): Economic competitiveness and national security dynamics in the race for 5G between the United States and China, str. 9

prouzrokovati vibraciju stanica koja se osjeti kao toplina. Ne ruši se struktura stanica i ne uzrokuje trajna šteta<sup>27</sup>.

Također, jedan od razloga sve veće zabrinutosti građana je i činjenica da se zbog manjeg dometa radiovalova postavljaju male ćelije na malim udaljenostima pa se stječe dojam da je 5G oprema posvuda. Zbog sve bržeg razvoja i implementacije 5G mreže, a nedovoljnog informiranja njenih korisnika, nije bilo neočekivano da će zabrinutost stanovništva povećavati.

### *Gdje 5G pripada na elektromagnetskom spektru*



**Slika 17: Razlika između ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja**

Izvor: <https://www.bbc.com/news/world-europe-48616174>

Do danas provedeno je više od tisuću istraživanja i nije dokazana nikakva povezanost između razvoja kancerogenih stanica i neionizirajućeg zračenja. Iako se nikada ne može biti u potpunosti dokazati da nova tehnologija neće imati nikakva štetna svojstva na čovjeka i prirodu, s trenutnim istraživanjima izgleda da ne postoji razlog za brigu.

<sup>27</sup> <https://mediacentre.vodafone.co.uk/5g/is-5g-safe/>



## 6. Implementacija 5G mreže u Republici Hrvatskoj

Rana implementacija i adaptacija na novu 5G mrežu od značajnog je interesa za svaku zemlju koja nastoji biti u koraku s modernim trendovima visoke tehnologije. Velika pokrivenost i fokusiranost na razvoj 5G mreže pokrenulo bi edukaciju i zapošljavanje sve većeg broja stručnjaka u području telekomunikacija što bi zasigurno rezultiralo novim poslovnim idejama i ostvarivanju profita u najbrže rastućoj high-tech industriji.

U Republici Hrvatskoj 2019. godina označavala je početak uvođenja i upoznavanja javnosti s 5G mrežom. Testne verzije uvele su se u gradove Samobor i Osijek te na otok Krk. Samobor je odabran zbog razvijene high-tech industrije i rastućeg broja novootvorenih poduzeća koje oslanjaju poslovanje na novim tehnologijama. Osječkoj startup sceni ovo bi moglo dati novi zamah, a Krk je već ranije implementirao niz digitalnih rješenja i ovo bi ga moglo gurnuti prema statusu pravog pametnog otoka.<sup>28</sup>

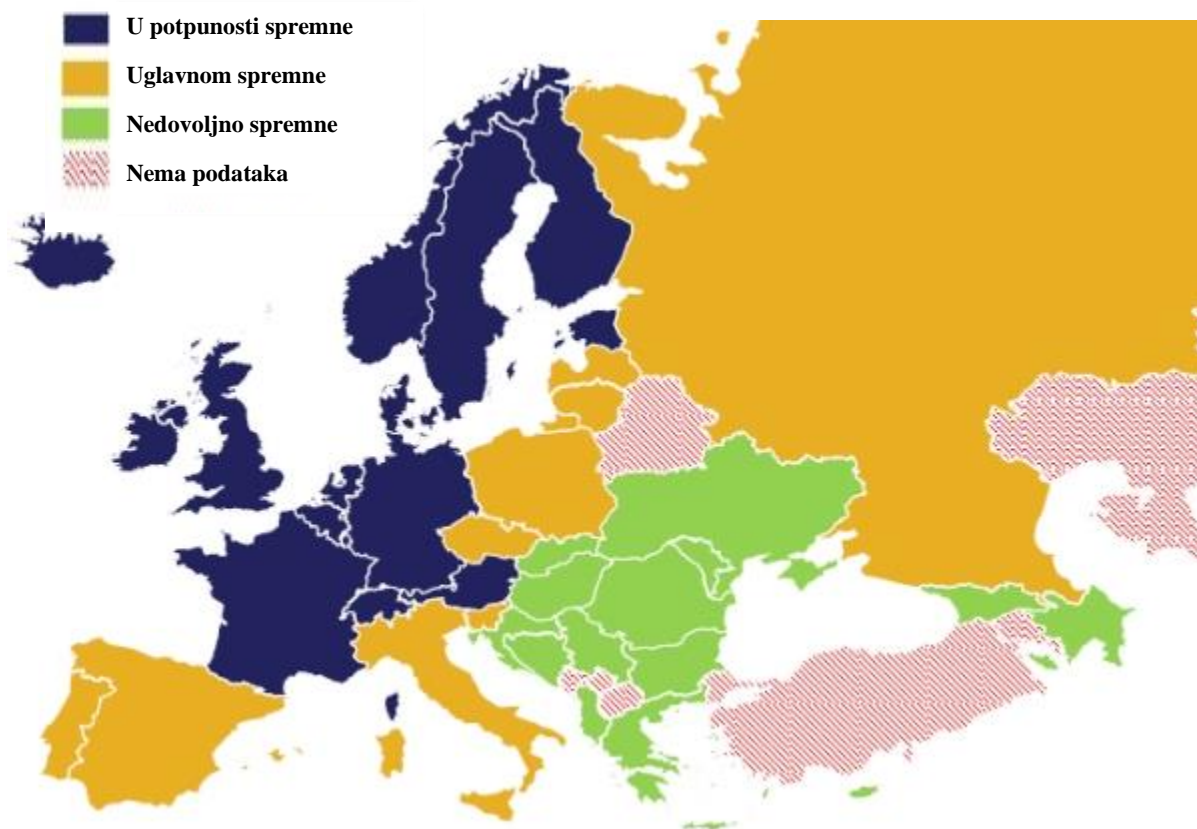
5G mobilna mreža početak će se komercijalno koristiti od 2020. godine nakon što HAKOM (Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti) dodijeli adekvatni frekvencijski prostor, što se očekuje krajem godine.

O samim frekvencijama je za sada još prerano govoriti, budući da se ne zna koji će spektri biti ponuđeni, no s obzirom na preporuke EU regulatornih tijela, može se očekivati prvo 3,5 GHz, a nakon toga 700 MHz (kad se oslobodi od TV kanala). Potonja je posebno zanimljiva jer će zbog njezine prirode, odnosno većeg dometa, biti omogućena veća pokrivenost signalom, kao npr. cesta, mora i ruralnih krajeva.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> <https://www.24sata.hr/tech/samobor-osijek-i-krk-prvi-u-hrvatskoj-surfaju-na-5g-mrezi-620163>

<sup>29</sup> <https://mob.hr/ekskluzivno-testirali-smo-a-l-hrvatska-5g-mrezu/>



**Slika 18: Spremnost europskih zemalja za prihvaćanje 5G mreže**

Izvor: <https://mreza.bug.hr/hrvatska-po-spremnosti-za-5g-na-31-mjestu-od-38-zemalja-europe/>

EU ne zaostaje puno usporedno s ostalim vodećim državama u razvoju 5G tehnologije poput SAD-a, Kine i ostalih azijskih država i zasigurno posjeduje neke ključne strateške prednosti kao što su europski proizvođači 5G opreme Nokia i Ericsson, ali i organizacije koje donose standarde poput ETSI-a i 3GPP-a.

Bez obzira na sve veću medijsku pokrivenost 5G mreže, prednosti koje omogućuje 5G u smislu ekonomskog stimulansa od proizvoda, usluga i zaposlenosti, 5G se još neko vrijeme neće u potpunosti implementirati ni u jednoj državi članici EU-a<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL\\_IDA\(2019\)631060\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL_IDA(2019)631060_EN.pdf) str. 26

Iako Republika Hrvatska pokazuje pozitivne rezultate u kriterijima ljudskih potencijala, razvijenosti tehnoloških poduzeća, infrastrukturi i tehnologiji, ne pokazuje zadovoljavajuće rezultate u kriterijima broja inovativnosti i zakonskim regulacijama potrebnim za primjenu 5G tehnologije.

Srećom, 5G mobilna mreža smatra se i dalje tehnologijom u razvoju što zemljama poput Hrvatske pruža mogućnost adaptacije i daje prostor za dostizanje potrebnih kriterija kako bi što spremnija dočekala komercijalnu uporabu 5G mreže.

## 7. Zaključak

Od prve mobilne generacije do četvrte, ljudi su uvijek tražili način kako postići veću povezanost i integrirati se u globalne komunikacijske tokove. Prva generacija bila je početak razvoja tehnologije za koju se nije moglo ni slutiti da će biti ovoliko značajna, ali i nužna za ljudski napredak i snažnu globalnu ekonomiju.

5G mobilna mreža tehnologija je budućnosti koja svojom brzinom, latencijom i velikim kapacitetima pruža mogućnost implementacije novih tehnologija koje su dugo čekale da bi ostvarile svoj puni potencijal i pokrenule još veći broj inovacija i poslovnih uspjeha. IoT, samovozeći automobili i VR tehnologija najavljuvanje su kao tehnologije stoljeća koje su prije postojale samo kao fikcija, ali dolaskom 5G mobilne mreže, njihov razvoj i komercijalna uporaba napokon može početi. Tehnologije poput Masivnog MIMO-a, Malih ćelija i Beamforminga pokazale su da se potpunim redizajnom arhitekture mobilnih mreža može riješiti i naizgled vrlo komplicirani problemi poput ograničenosti frekvencijskog spektra i nedovoljnih kapaciteta.

Svaka nova tehnologija sa sobom donosi i potencijalne prijetnje. Osim privatnosti i sigurnosti podataka, javlja se i zabrinutost građana koji zbog manjka adekvatnih informacija o načinu rada nove 5G mreže redovito na društvenim mrežama izražavaju brigu o utjecaju zračenja 5G tehnologije na čovjeka. Za sada su se ti strahovi pokazali neopravdanima s obzirom na činjenicu da tisuće provedenih istraživanja nisu pokazala nikakvu korelaciju između neionizirajućeg zračenja i kancerogenih utjecaja na ljude.

Republika Hrvatska počela je s testovima 5G mreže i operateri planiraju sustavno uvoditi 5G mrežu na strateški važnim lokacijama. Nažalost, istraživanja pokazuju da postoje kriteriji koji trenutno nisu zadovoljeni poput zakonskih regulacija, ali srećom ova tehnologija je još uvijek u razvoju i postoji dovoljno vremena da se poduzmu značajni koraci kako bi implementacija 5G mobilne mreže što prije i efikasnije započela.

## Literatura:

1. 24 sata (2019): Samobor, Osijek i Krk prvi surfaju na 5G mreži, [Internet], raspoloživo na :<https://www.24sata.hr/tech/samobor-osijek-i-krk-prvi-u-hrvatskoj-surfaju-na-5g-mrezi-620163>
2. Cheng-Xiang Wang (2014): Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks, str. 124
3. Cnet (2019): 5G could make self-driving cars smarter and commutes safer, [Internet], raspoloživo na: <https://www.cnet.com/news/5g-could-make-self-driving-cars-smarter-commutes-safer/>
4. Colin BLACKMAN i Simon FORGE (2019): 5G deployment, [Internet], raspoloživo na: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL\\_IDA\(2019\)631060\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2019/631060/IPOL_IDA(2019)631060_EN.pdf)
5. Computer Business Review (2018): What is Massive MIMO, [Internet], raspoloživo na: <https://www.cbronline.com/answer/what-is-massive-mimo>
6. David Basin et al. (2018): A formal analysis of 5G authentication, [Internet], dostupno na: <https://arxiv.org/pdf/1806.10360.pdf>
7. Doug Brake (2018): Economic competitiveness and national security dynamics in the race for 5G between the United States and China
8. Ericsson (2018): Beamforming, from cell-centric to user-centric, [Internet], raspoloživo na: <https://www.ericsson.com/en/networks/trending/hot-topics/5g-radio-access/beamforming>
9. ETSI – 2nd Generation (GERAN) raspoloživo na: <https://www.etsi.org/technologies/mobile/2g>
10. Europska komisija (2019): Što je AR, a što VR i kako nam tehnologija pomaže doživjeti stvarnost, [Internet], raspoloživo na: [https://ec.europa.eu/croatia/content/what-is-AR-what-VR-and-how-technology-helps-us-to-experience-reality\\_hr](https://ec.europa.eu/croatia/content/what-is-AR-what-VR-and-how-technology-helps-us-to-experience-reality_hr)
11. Fundak, D. (2016): 5G mobilni komunikacijski sustavi, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek

12. GSMA (2018): Spectrum Sharing; GSMA Public Policy Position, [Internet], raspoloživo na: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2018/11/Spectrum-Sharing-Positions.pdf>
13. Gupta P (2013): Evolvement of mobile generations
14. Heiko G.Seif i Xiaolong Hu (2016): Autonomous Driving in the iCity—HD Maps as a Key Challenge of the Automotive Industry
15. IEEE Spectrum (2017): 5G Bytes: Full duplex explained, [Internet], raspoloživo na: <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/5g-bytes-full-duplex-explained>
16. Interference Technology (2015): Mobile generations explained, [Internet], raspoloživo na: <https://interferencetechnology.com/mobile-generations-explained/>
17. Khan A. (2009): 4G as a next generation mobile network
18. Maček S. (2016): Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
19. Matijašević M. (2018): Sigurnosni zahtjevi i izazovi u 5G pokretnim mrežama, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek
20. Mediacentre Vodafone (2019): Is 5G safe ?, [Internet], raspoloživo na: <https://mediacentre.vodafone.co.uk/5g/is-5g-safe/>
21. Mehta H. (2014): 0G to 5G Mobile Technology, [Internet], raspoloživo 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)
22. Metaswitch (2018): What is 5G beamforming, beam steering and beam switching with massive MIMO, [Internet], raspoloživo na: <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>
23. Mob.hr (2019): Ekskluzivno: Testirali smo A1 Hrvatska 5G mrežu, [Internet], raspoloživo na: <https://mob.hr/ekskluzivno-testirali-smo-a1-hrvatska-5g-mrezu/>
24. Qualcomm (2018): Ubiquitous 5G experiences with small cells, [Internet], raspoloživo na: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2018/10/15/ubiquitous-5g-experiences-small-cells>
25. Qualcomm (2018): VR and AR pushing connectivity limits, [Internet], raspoloživo na: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf>

26. Racunalo.com (2016): Vodič za razumijevanje Internet stvari – Internet of Things (IoT), [Internet], raspoloživo na: <https://www.racunalo.com/vodic-za-razumijevanje-internet-stvari-internet-of-things-iot/>
27. Theodore S. Rappaport (2013.): Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work! Raspoloživo na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6515173>
28. Vukelić V. (2016): Pokretne mreže pete generacije – pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek,
29. Wikipedia: Autonomno vozilo, [Internet], raspoloživo na: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Autonomno\\_vozilo](https://hr.wikipedia.org/wiki/Autonomno_vozilo)
30. Zhang Z. (2015): Full Duplex Techniques for 5G Networks: Self-Interference Cancellation, Protocol Design, and Relay Selection

## **Popis kratica**

AMPS - Advanced Mobile Phone System

AMTS - Advanced Mobile Telephone Service

AR – Argumented Reality

C-V2X - Cellular Vehicle-to-everything

DDoS – Disturbed Denial of Service

DoS – Denial of Service

EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution

ETSI – European Telecommunications Standards Institute

FDMA - frequency division multiplex access

GHz - Gigaherc

GPRS - Global Pocket Radio System

GPS – Global Positioning System

GSM - Global System for Mobile Communications

HAKOM - Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti

HSDPA - High-Speed Downlink Packet Access

HSPA - High Speed Packet Access

IM - Interference Management

IMT-2000 - International Mobile Telecommunications-2000

IMTS - Improved Mobile Telephone Service

IoT – Internet of Things

ITU - International Telecommunication Union

ITU-R - ITU Radiocommunication Sector

LTE - Long Term Evolution

LTE-A - Long Term Evolution Advanced

M2M - Machine to Machine

MHz - Megaherc



MIMO - Multiple-Input Multiple-Output  
MITM – Man in the Middle  
MMS - Multimedia Messaging Service  
mmWaves - millimetre waves  
MR – Mixed Reality  
MTD - Mobile Telephony system D  
MTS - Mobile Telephone Service  
NMT - Nordic Mobile Telephone  
OLT - Norwegian for Offentlig Landmobil Telefoni  
PLMT - Public Land Mobile Telephony  
PTT - Push to Talk  
RTMI - Radio Telefono Mobile Integrato  
SAD – Sjedinjene Američke Države  
SE – Spectral Efficiency  
TACS – Total Access Communication System  
UMTS - Universal Mobile Telecommunication Systems  
V2X - Vehicle-to-everything  
VR – Virtual Reality  
WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

## **Sažetak**

U ovom radu prikazan je razvoj generacija mobilnih mreža od vremena prije pojave mobilnih mreža do četvrte i trenutne generacije mobilnih mreža. Navedeni su razlozi pojave 5G generacije mobilne mreže i tehnologija koja je omogućuje poput masivnog MIMO-a, dijeljenja spektra i malih ćelija. Obrazložene su pozitivne strane i poslovne prilike poput Interneta stvari, ali i potencijalne sigurnosne i zdravstvene prijetnje koje se javljaju implementacijom 5G mreže u Republici Hrvatskoj. Na posljetku, analizira se trenutna situacija u svijetu, Europi i Republici Hrvatskoj te se predviđa vrijeme dugo očekivane implementacije 5G mreže u Republici Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** mobilne mreže; 5G; masivni MIMO; internet stvari; 5G zračenje

## **Abstract**

This paper presents the development of mobile network generations from the time before mobile networks to the fourth and current generation of mobile networks. The reasons for the emergence of 5G mobile network generation and technology that enables it like massive MIMO, spectrum sharing and small cells are outlined. The positive sides and business opportunities such as the Internet of Things are explained, as well as the potential safety and health threats that arise with the implementation of the 5G network in the Republic of Croatia. Finally, the current situation in the world, Europe and the Republic of Croatia is analyzed and the long-awaited implementation of the 5G network in the Republic of Croatia is predicted.

**Keywords:** mobile networks; 5G; massive MIMO; Internet of Things; 5G radiation

## **Životopis**

Marko Opačak rođen je 13.5. 1997. godine u Splitu. Upisuje osnovnu i srednju školu u Kaštelima. Nakon završene opće gimnazije, 2016. godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij poslovne ekonomije na Ekonomskom fakultetu u Splitu. Na trećoj godini odabire smjer informatički menadžment.