

Brčina, Marijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:137:137527>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-25**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli

MARIJAN BRČINA

MREŽA 5G

Završni rad

Pula, kolovoz, 2020.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli

MARIJAN BRČINA

MREŽA 5G

Završni rad

JMBAG: 0303075733, redoviti student

Studijski smjer: Informatika

Predmet: Informacijska tehnologija i društvo

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Informacijske i komunikacijske znanosti

Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija

Mentor: Prof. dr. sc. Mario Radovan

Pula, kolovoz, 2020.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Marijan Brčina, 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 nedozvoljen 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, _____, _____ godine



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Marijan Brčina dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „Mreža 5G“ 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, _____ (datum)

Potpis

SAŽETAK

Radi lakšeg razumijevanja ove teme u ovome ćemo radu najprije pojasniti osnovni princip rada svake mobilne mreže. Redom ćemo proći kroz sve generacije mobilnih mreža, odnosno od razdoblja kada se počela rađati ideja za mobilnim mrežama pa do suvremene mobilne mreže. Ostatak sadržaja rada se odnosi na 5G mrežu koja je ujedno i glavna tema ovog rada. Sukladno tome ćemo obrazložiti kako se razvijao 5G sustav te što je sve potrebno razviti kako bi 5G infrastruktura funkcionirala. Dolaskom 5G mreže uporaba mobilnih sustava će se uveliko proširiti, točnije 5G sustav će, ako ovako nastavi, kroz par godina biti prisutan u svakom segmentu našeg društva. 5G infrastruktura će unaprijediti i pospješiti rast svjetskog gospodarstva, ali uz to će i život „običnog“ čovjeka učiniti lakšim i sigurnijim. Rasprostranjenost 5G mreže na svjetskoj razini je još uvijek vrlo mala, razvijenost 5G mreže uveliko ovisi o razvijenosti države u kojoj se implementira, iz navedenog razloga dobrostojeće države prednjače u razvoju 5G infrastrukture, kako u svijetu tako i u Europi. U Hrvatskoj 5G infrastruktura još uvijek zaostaje za ostatkom Europe, nemamo još nijednu aktivnu 5G mrežu ali smo za sada na dobrom putu i nadamo se da će se navedena situacija ubrzo promijeniti. Diljem svijeta se formiraju razne organizacije koje se zalažu za obustavljanje razvoja 5G infrastrukture, navodeći kako ista uzrokuje razne zdravstvene probleme, ponajviše stvaranje tumora na mozgu. Koliko je istine u takvim tvrdnjama i što zahtijevaju navedene organizacije objašnjeno je u posljednjem poglavlju ovog rada.

Ključne riječi: komunikacija, mobilna mreža, 5G, brzina prijenosa podataka, povezanost

SUMMARY

For ease understanding of this topic in this paper, we will first explain the basic principle of operation of each mobile network. We will go through all generations of mobile networks one by one, apropos, from the period when the idea for mobile networks began to be born until the modern mobile network. The rest of the content of the paper refers to the 5G network which is at the same time the main topic of this paper. Accordingly, we will explain how the 5G system developed and what all needs to be developed for the 5G infrastructure to work. With the advent of the 5G network, the use of mobile systems will greatly expand, more precisely, the 5G system will, if it continues like this, in a couple of years to be immanent in every segment of our society. The 5G infrastructure will enhance and precipitate the growth of the world economy, but it will also make the life of an „ordinary“ man easier and safer. The prevalence of 5G network worldwide is still very small, the development of 5G network largely depends on the development of the country in which it is implemented and for the above mentioned reason, a well off countries are at the forefront of 5G infrastructure development, both worldwide and in Europe. In Croatia, the 5G infrastructure is still lagging behind the rest of Europe, we don't have any active 5G network yet, but we are on the right track for now and we hope that this situation will change soon. Various organizations are being formed around the world to stop the development of 5G infrastructure, stating that it causes various health problems, mostly the formation of brain tumors. How much truth there is in such claims and what these organizations demand is explained in the last chapter of this paper.

Key words: communication, mobile network, 5G, data transfer rate, connection

SADRŽAJ

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. TEMELJNI NAČIN RADA MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA | 2 |
| 3. RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA | 6 |
| 3.1 RAZDOBLJE PRIJE MOBILNIH MREŽA (0G) | 6 |
| 3.2 MOBILNA MREŽA PRVE GENERACIJE (1G) | 7 |
| 3.3 MOBILNA MREŽA DRUGE GENERACIJE (2G) | 8 |
| 3.4 MOBILNA MREŽA TREĆE GENERACIJE (3G) | 10 |
| 3.5 MOBILNA MREŽA ČETVIRTE GENERACIJE (4G) | 11 |
| 4. MOBILNA MREŽA PETE GENERACIJE (5G) | 14 |
| 4.1 ARHITEKTURA 5G SUSTAVA | 16 |
| 4.1.1 RAZVOJ ČELIJA VISOKE GUSTOĆE | 18 |
| 4.1.2 MM VALOVI | 19 |
| 4.1.3 DIJELJENJE FREKVENCIJSKOG OPSEGA | 20 |
| 4.1.4 SAMOORGANIZIRAJUĆA MREŽA | 21 |
| 4.1.5 KOMUNIKACIJA MEĐU STROJEVIMA | 22 |
| 4.1.6 5G – ENSURE | 24 |
| 5. UPOTREBA 5G MREŽE | 25 |
| 5.1 INTERNET STVARI | 26 |
| 5.1.1 PAMETNA KUĆA | 27 |
| 5.1.2 PAMETNI GRAD | 29 |
| 5.1.3 PAMETNO ZDRAVSTVO | 29 |
| 5.1.4 PAMETNI PROMET | 31 |
| 6. RASPROSTRANJENOST 5G MREŽE | 33 |
| 6.1 5G MREŽA U EUROPI | 34 |
| 6.2 5G MREŽA U HRVATSKOJ | 36 |
| 7. RIZICI 5G MREŽE | 38 |
| 8. ZAKLJUČAK | 40 |
| 9. LITERATURA | 41 |

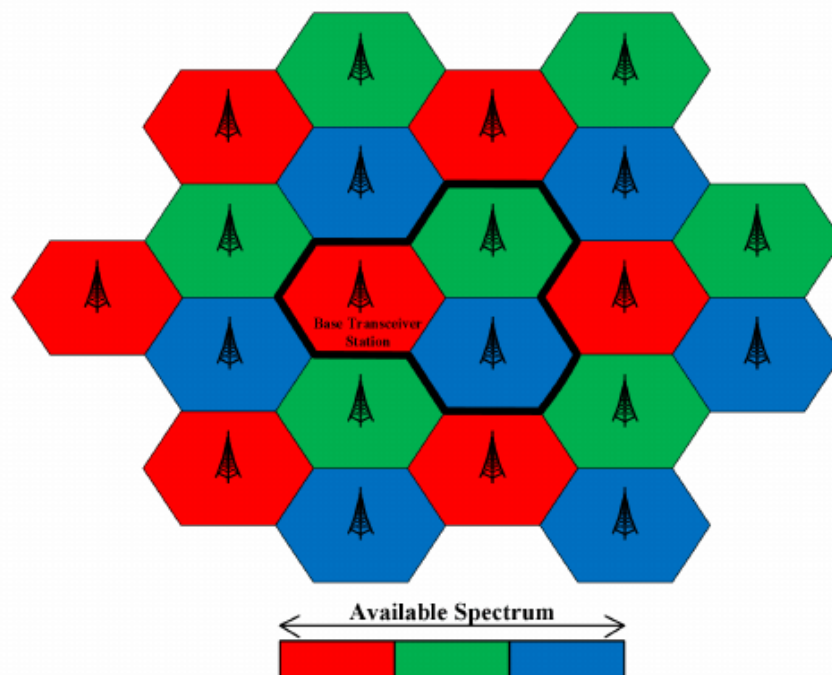
1. UVOD

Sa sigurnošću možemo potvrditi da je razvoj mobilnih mreža unaprijedio, olakšao i poboljšao kvalitetu života. Razvoj mobilnih mreža zapravo uzrokuje da svijet u globalu svakom novom generacijom mobilne mreže postaje povezanije i dostupnije mjesto za život, kako velikim firmama i organizacijama tako i „običnom“ čovjeku. Komunikacija se odvija brže i jednostavnije što je sa sigurnošću znatno pomoglo i bržem razvoju svjetskog gospodarstva. Svaka nova generacija mobilne mreže donosila je sa sobom nešto novo i bolje te je samim tim podizala kvalitetu života pojedinca, pospješila otvaranje novih radnih mjesta ali i poduprla razvoj novih industrija. Sa sigurnošću možemo reći da pogodnosti dobivene modernim mobilnim mrežama ne smijemo shvatiti olako jer je razvoj od 1G mreže pa do nadolazeće 5G mreže bio poprilično dug i zahtjevan. Bez obzira na kompleksnu infrastrukturu i zahtjevne izazove pri razvoju novih generacija mobilnih mreža, uvijek stoji pitanje vremena kad će se kapaciteti trenutne generacije mobilne mreže isprazniti, a korisnički zahtjevi povećati. Upravo to je razlog koji je naveo stručnjake da sve više u današnje vrijeme raspravljaju o novoj generaciji mobilne mreže. 5G mobilna mreža će, sada već možemo reći i sa sigurnošću, biti „pametnija“, efikasnija, te do sto puta brža od trenutne mobilne mreže, tj. 4G mreže. Implementacija 5G mreže će omogućiti priključivanje raznih uređaja na mrežu što će zatim pospješiti razvoj robotike, pametnih automobila, pametnih kuća, pametnih ulica te brojnih drugih sličnih ali i manje sličnih mogućnosti.

Kako popularnost 5G mreže sve više raste tako se formiraju organizacije ljudi koje baš i ne podržavaju implementaciju navedene tehnologije. Takve organizacije tvrde da je 5G mreža nedovoljno istražena te tvrde kako bi zračenje koje će emitirati 5G antene sa sigurnošću naštetiti našem zdravlju ali i zdravlju naših potomaka. Koliko zapravo ima istine u navedenim tvrdnjama te koliko je i zašto 5G mreža opasna za zdravlje čovječanstva objasniti ću kroz ovaj rad.

2. TEMELJNI NAČIN RADA MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

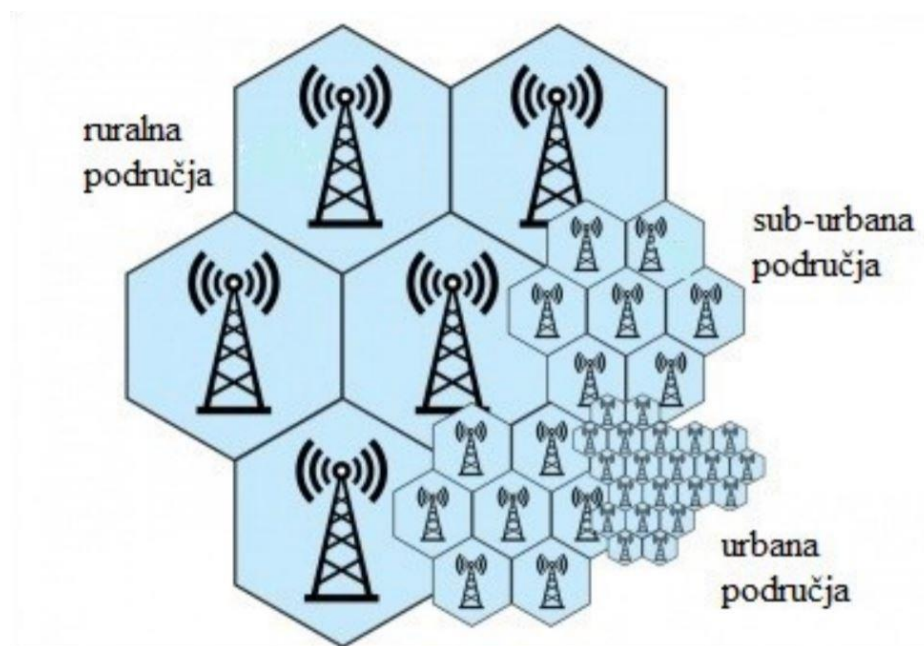
Radi lakšeg razumijevanja rada mreže 5G ali i ostalih mreža prvo ćemo razjasniti temeljni način rada svake mobilne mreže. Glavni uvjet svake mobilne mreže je visok kapacitet, kako bi pojedina mobilna mreža sadržavala navedeni uvjet trebali bi ograničiti područje koje pokriva svaka od baznih stanica na malu geografsku regiju, takozvanu ćeliju. Jednake frekvencije i kodovi se ponovo koriste na način da se bazne stanice funkcionalno odvoje, prednosti navedenog sustava su povećanje iskoristivosti te povećanje kapaciteta. U ovakvom slučaju je bitna efikasna raspodjela, razlog je ispravna ograničenost frekvencijskog spektra, rješenje je u alociranju ćelija koje koriste iste frekvencije na definiranu udaljenost, dovoljno da ne dođe do križanja, odnosno preklapanja. Slika 2.1. nam prikazuje kako zapravo izgleda raspodjela baznih ćelija na nekakvom određenom prostoru.



Slika 2.1. Grafički prikaz baznih ćelija

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Frequency-reuse-3-model-in-GSM_fig1_282601918 (pristup: 21.08.2020.)

Ranije objašnjeni sistem radi na potpuno drugačiji način od tradicionalnog radio odašiljanja. Kod tradicionalnog radio odašiljanja jedna ćelija pokriva cijeli grad dok kod takozvani „handover“ način radi na principu da se korisnik mobilnog telefona slobodno i neovisno kreće željenim područjem te mu se omogućava prijelaz iz ćelije u ćeliju a da pri tome komunikacija ostane neprekinuta. Bazna stanica na koju je korisnik u datom trenutku spojen u svakome trenu ima informaciju o kakvoći signala mobilnog uređaja, ukoliko bazna stanica na koju je korisnik trenutno spojen primi informaciju od druge bazne stanice da će isti korisnik imati kvalitetniji signal ukoliko se prespoji na drugu baznu stanicu, tada se kontrolnim porukama postigne dogovor da se korisnik prespoji na drugu baznu stanicu odnosno stanicu s jačim signalom. Ruralnim područjima nije potreban toliko velik broj baznih ćelija kao što je to slučaj sa urbanim područjima. Veće ćelije dijelimo na sub-ćelije te na taj način u gusto naseljenim mjestima osiguravamo stabilnost i kapacitet za sve korisnike. ¹



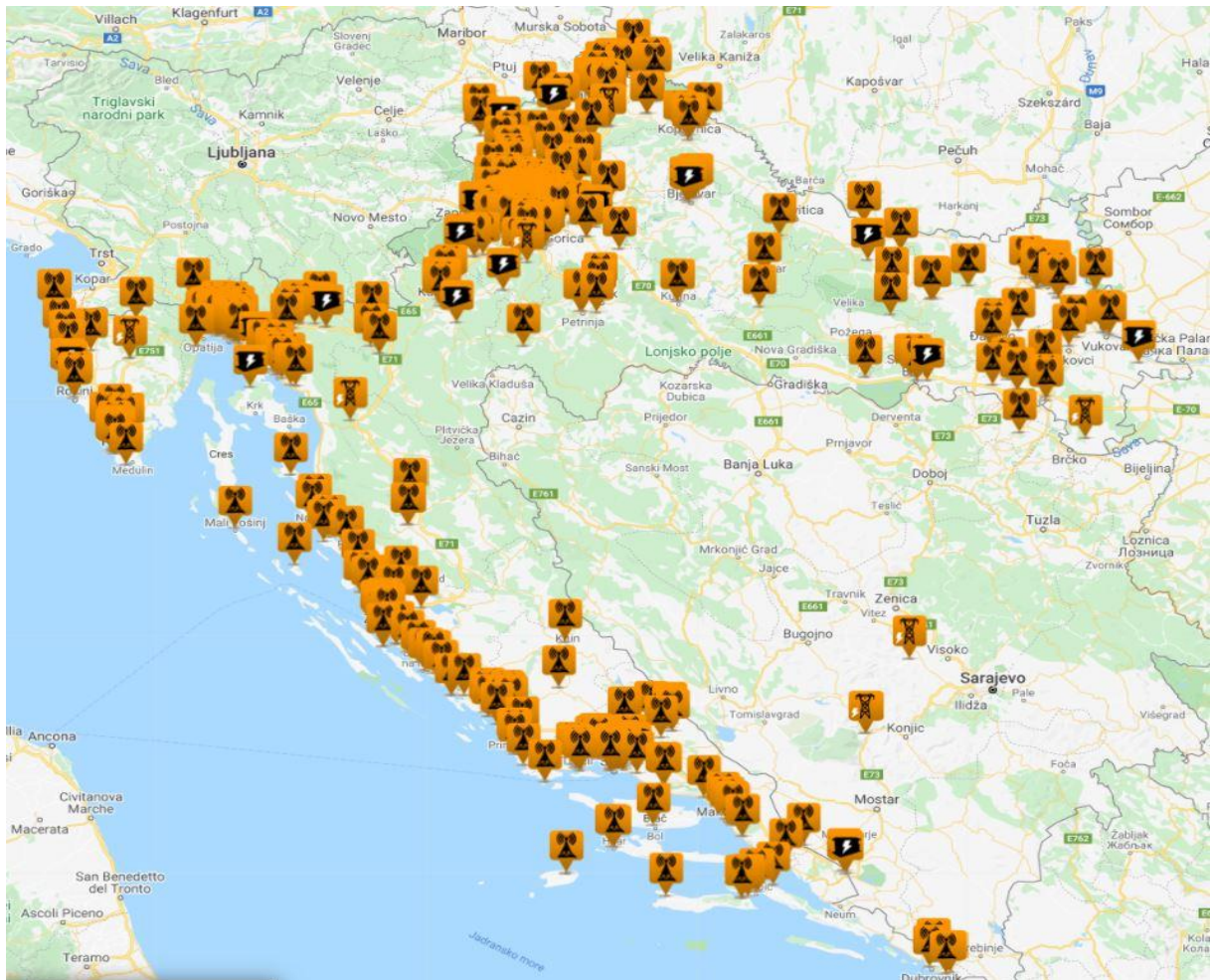
Slika 2.2. Raspored baznih ćelija po gustoći naseljenosti mjesta

Izvor: <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2142/datastream/PDF/view>

(pristup: 21.08.2020.)

¹ H. Liović - RAZVOJ TELEKOMUNIKACIJSKIH MOBILNIH SUSTAVA, (2019.)

Na dole prikazanoj slici, odnosno na slici 2.3. možemo vidjeti kako su raspoređene bazne stanice u republici Hrvatskoj. Iz slike se zapravo može izvući sve ono o čemu smo ranije pisali, točnije vidimo da su slabije naseljena područja i slabije pokrivena baznim stanicama. Odnosno možemo vidjeti da cijela Lika i Gorski kotar imaju svega desetak baznih stanica, dok npr. Pula, koja je tek šesti grad po veličini u Hrvatskoj, ima duplo više baznih stanica, odnosno njih dvadesetak.



Slika 2.3. Raspored baznih stanica po RH

Izvor: http://maps.huzez.hr/?fbclid=IwAR3_j6X0Yvfif7chd7cwsdE-CYjXii0IV-kStqVqGn864qJ9hz4cUJ7MZkc (pristup: 21.08.2020.)



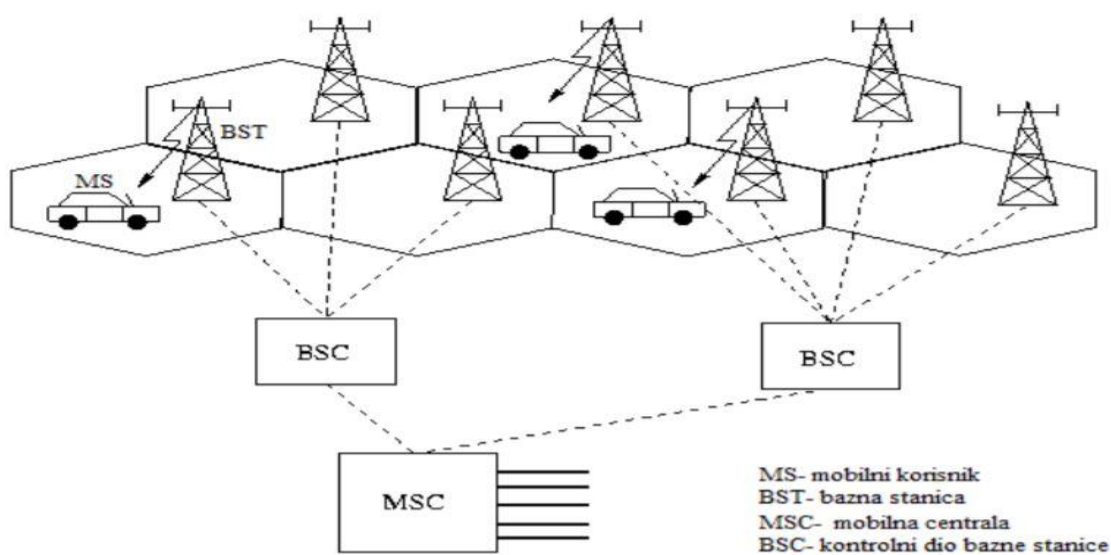
Slika 2.4. Fizički izgled bazne stanice

Izvor:

http://www.foti.co.rs/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=92

(pristup: 21.08.2020.)

Na slici 2.4. možemo vidjeti kako fizički izgleda bazna stanica o kojoj smo ranije pričali, kao što je već i navedeno bazna stanica ima mogućnost komuniciranja s drugim baznim stanicama ali i s mobilnim komutacijskim centrom (*eng. Mobile Switching Centre*) koji je direktno povezan s PSTN odnosno s javnom komutacijskom telefonskom mrežom. Korisnik u bilo kojem trenutku može komunicirati s ostalim korisnicima bili oni povezani žičano ili bežično. Slika 2.5. grafički prikazuje sve o čemu smo govorili u ovom poglavlju.



Slika 2.5. Cjelokupni mobilni komunikacijski sustav

Izvor: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1108/preview> (pristup: 21.08.2020.)

3. RAZVOJ MOBILNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA

3.1 RAZDOBLJE PRIJE MOBILNIH MREŽA (0G)

Prije nego što su se opće počele razvijati mobilne mreže ljudi su živjeli u razdoblju koje je danas poznato pod nazivom 0G, odnosno razdoblje prije mobilnih telefona. U navedenom razdoblju su također postojali telefoni ali su se oni uglavnom nalazili i vozilima te nisu bili mobilni, tj. nisu bili prijenosni. U to vrijeme su se najčešće koristile takozvane PTT (*eng. Push to Talk*) tehnologije kod kojih je prilikom slanja poruka bilo potrebno pritiskanje tipke. Također su se koristile i MTS (*eng. Mobile Telephone Service*) tehnologije, način rada ove tehnologije je bio da operater spaja dolazeće pozive s primateljima kojima je upućen taj isti poziv. Nešto kasnije je u uporabu došla i AMTS (*eng. Advanced Mobile Telephone Service*) tehnologija, glavna karakteristika ove tehnologije je spajanje pošiljatelja i primatelja poziva bez prisustva ljudskog faktora, kasnije se ova tehnologija koristila i u 1G mobilnoj mreži. Uz navedene tehnologije u 0G mobilnoj mreži koristile su se još i tehnologije poput IMTS (*eng. Improved Mobile Telephone Service*), OLT (*eng. Norwegian for Offentlig Landmobil Telefoni*), PLMT (*eng. Public Land Mobile Telephony*) te MTD (*eng. Mobile Telephony system D*)²



Slika 3.1.1 Telefoni korišteni u 0G mreži

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_radio_telephone (pristup: 21.08.2020.)

² H. Mehta, D. Patel, B. Joshi, H. Modi - 0G to 5G Mobile Technology: A Survey (2014.) Dostupno s: https://www.researchgate.net/publication/308540263_0G_to_5G_Mobile_Technology_A_Survey (pristup: 21.08.2020.)

3.2 MOBILNA MREŽA PRVE GENERACIJE (1G)

Prvi mobilni komunikacijski sustav na svijetu razvijen je u Tokiju 1979. godine, razvila ga je Japanska tvrtka „Nippon Telegraph“. Navedena tvrtka je uspjela ostvariti vezu između korisnika mobilne mreže i bazne stanice pomoću FDMA (*eng. frequency division multiplex access*) tehnologije koja je višestrukim pristupom frekvencijski raspodjeljivala kanale. Dvije godine nakon toga ova vrsta mobilne mreže stigla je i u Europu. Osnovna karakteristika prve generacije mobilne mreže bio je analogni signal. U odnosu na danas mogućnosti ove mobilne mreže su bile vrlo ograničene i „siromašne“, tako se naprimjer moglo komunicirati isključivo preko glasovnih poziva, 1G tehnologija nije bila dovoljna ni za slanje poruka a slanje multimedijских sadržaja je u to vrijeme bio nezamisliv pojam. Kvaliteta samog poziva u to vrijeme je također bila na lošoj razini, zvuk je bio nejasan i poziv bi često bio prekinut iz razloga što analogni signal nije baš imao široku pokrivenost. Poznato je da sigurnost podataka koji se šalju analognim signalom i nije baš na visokoj razini te je samim tim i sigurnost poziva ostvarenih pomoću 1G mreže bila jako loša. Maksimalna brzina 1G mreže nije prelazila 2.4 Kbps.

Zaključujemo da je kod opisane mobilne mreže bilo jako puno nedostataka, stručnjaci su u to vrijeme također bili svjesni toga te su znali da će se buduće mobilne mreže morati razvijati na nekoj potpuno drugačijoj tehnologiji. Kod 1G mobilne mreže koristilo se nekoliko standardnih tehnologija koje su uglavnom bile usko vezane za geografski položaj država korisnika. Neke od tehnologija su:

- NMT (*eng. Nordic Mobile Telephone*), korištena u Nordijskim zemljama, Švicarskoj, Nizozemskoj, Rusiji te dijelovima Istočne Europe
- AMPS (*eng. Advanced Mobile Phone System*) koja je korištena u Sjevernoj Americi i Rusiji
- TACS zemlja korištenja je Ujedinjeno Kraljevstvo
- RTMI korištena u Italiji³

³ Item Media - Mobile Generations Explained (2015.) dostupno s: <https://interferencetechnology.com/mobile-generations-explained/> (pristup: 21.08.2020.)

| | AMPS | TACS | NMT-450 |
|------------------------------|---------|---------|---------|
| Opseg za silaznu vezu [MHz]. | 869-894 | 934-960 | 463-468 |
| Opseg za uzlaznu vezu [MHz] | 824-849 | 890-915 | 453-458 |
| Metoda višestrukog pristupa | FDMA | FDMA | FDMA |
| Modulacija | FM | FM | FM |
| Broj kanala | 832 | 1000 | 200 |
| Širina kanala [kHz]. | 30 | 25 | 25 |

Tablica 3.1. Karakteristike 1G najčešće korištenih tehnologija

Izvor: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/AMPS-vs-TACS-vs-NMT.html>

(pristup: 21.08.2020.)

3.3 MOBILNA MREŽA DRUGE GENERACIJE (2G)

Druga generacija mobilnih mreža, poznata još i kao GSM (*Global System for Mobile Communications*), je predstavljena 1991. godine u Finskoj. Najveći napredak ove mreže u odnosu na prvu generaciju je taj što 2G mreža koristi digitalnu tehnologiju s višestrukim pristupom. 2G sustav koristi tehnologije kao što su *TDMA* (*engl. Time Division Multiple Acces*) i *FDMA* (*engl. frequency division multiplex access*), koje su sa sobom donijele veću brzinu prijenosa podataka te osjetno kvalitetniji prijenos zvuka, spektralna širina svakoj od mreža je 200 kHz.

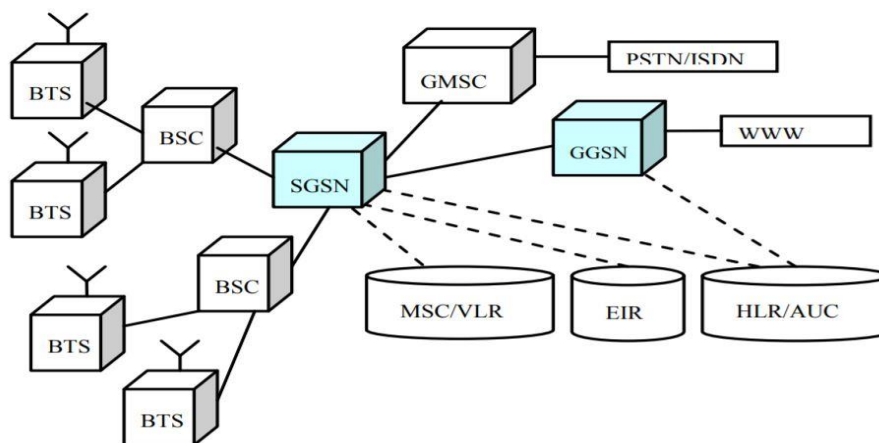
FDMA je tehnologija koja dijeli jedan kanal na više kanala prema frekvenciji. Novonastali kanali moraju biti dovoljno široki da se signal spektra može širiti. U suštini jedna komunikacije koristi jedan radio kanal.

TDMA tehnologija osigurava da se u kratkim vremenskim intervalima svaki digitalni signal šalje određenu poruku, to omogućuje da uređaj pomoću samo jednog kanala šalje svoje poruke, s tim da će te poruke ići jedna za drugom. Dakle TDMA nam omogućava da veći broj korisnika koristi isti kanal.

Uz potpuno nove tehnologije za prijenos podataka te uz pojavu 2G mreže smo dobili i nove načine komuniciranja. 2G mreža je sa sobom donijela mogućnost slanja faksa te mogućnost razmjenjivanja poruka i podataka, brzina prijenosa podataka se povećala na 9.6 kbit/s. 2G mreža ima i mogućnost šifriranja korisničkih podataka što je

omogućilo dosta bolju zaštitu od zloupotrebe podataka. Uz to je još poboljšana i kvaliteta prijenosa podataka. Sami mobilni uređaji koji su se pojavili uz 2G mrežu su osjetno modernizirani, tj. manji su, jeftiniji ali i lakši u odnosu na mobilne uređaje koji su se koristili u mrežama prve generacije.

GPRS mobilna mreža koja je predstavljena 1998. godine, u uporabu je puštena par godina nakon, točnije 2001. godine. Poznata je još i pod nazivom 2,5G jer predstavlja nadogradnju na 2G mrežu te teži prema 3G mreži. GPRS mrežom je povećana brzina prijenosa podataka na 115 kbit/s, manje vremena joj je potrebno za spajanje, donosi mogućnost spajanja na internet te razmjenjivanje MMS poruka. Osnovna razlika u odnosu na GPS mrežu su dva nova mrežna elementa: *SGSN (Serving GPRS Support Node)*, ovaj element je zadužen za sigurnost te prijenos podataka između mobilnih stanica, drugi element je *GGSN (Gateway GPRS Support Node)* koji je zadužen za komunikaciju s vanjskim mrežama, kontroliranje prijenosa te praćenje kretanja podataka.⁴



Slika 3.3.1 Arhitektura GPRS mreže

Izvor: B. Burazer: *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije* (pristup: 23.08.2020.)

Posljednja nadogradnja druge generacije mobilne mreže je takozvana EDGE (engl. Enhanced Data Rates for GSM Evolution) nadogradnja, poznatija i kao 2,75G. EDGE mreža se smatra unaprijeđenom verzijom GPRS mreže. EDGE mreža nije donijela nikakve osobito velike hardverske i softverske promjene, ali se brzina prijenosa podataka povećala sa tadašnjih 115 kbit/s, koliko je imala GPRS mreža, na novih 384 kbit/s, koliko je donosila nova EDGE mreža.⁵

⁴ B. Burazer: *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije*, Hrvatski zavod za norme, 2014.

⁵ B. Burazer: *Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije*, Hrvatski zavod za norme, 2014.

3.4 MOBILNA MREŽA TREĆE GENERACIJE (3G)

Treća generacija mobilne mreže se počela pojavljivati 2000. godine, ali se počela upotrebljavati tek 2001. godine. Ova mobilna mreža je napravila preokret u cjelokupnom razvijanju mobilnih mreža, razlog toga je što je usmjerena na poboljšanje brzine prijenosa podataka i pristup internetu a ne na glasovne usluge i poruke kao što je bio slučaj s prethodnim generacijama mobilnih mreža. Kako je 3G mreža više bila privrženica potrebama korisnika a manje tehnologiji to je dovelo do većeg broja konkurentnih sustava. Zbog povećanog broja sustava ITU (*engl. International Telecommunication Union*) organizacija je standardom IMT-2000 definirala uvjete koje je svaka novonastala 3G mreža morala zadovoljavati. Osnovi zahtjevi su bili da brzina za stacionarne korisnike ne smije biti manja od 2 Mbit/s, za pješake je minimalna brzina morala biti 384 kbit/s te korisnici u vozilima nisu smjeli imati manju brzinu od 144 kbit/s. Također se zahtijevalo da 3G mreža bude kompatibilna i prilagodljiva s prethodno nastalim sustavima. Još neki od zahtjeva su mogućnost *roaminga* te vrlo visoka kvaliteta prijenosa podataka.

Prva komercijalna 3G mreža pojavila se u Japanu 2001.godine. Nazvana je FOMA i radila je pomoću W-CDMA (*engl. Wideband-Code Division Multiple Access*) načina višestrukog pristupa. Zatim je 2002. godine 3G mreža stigla i u Južnu Koreju gdje je korištena uz 1xEVDO tehnologiju. Što se tiče Europe 3G tehnologija je razvijena 2003. godine, baš kao i u Ujedinjenom kraljevstvu, u oba slučaja je korištena W-CDMA tehnologija. Prva europska država koja je započela s korištenjem 3G mreže je bila Italija, mnoge države nisu odmah započele s korištenjem navedene mreže zbog visokih cijena frekvencijskih opsega te zbog zahtijevanja nove, izrazito skupe opreme.

6

⁶ A., Kumar, Y., Liu, J. Sengupta: Evolution of Mobile Wireless Communication (2010.) Dostupno s: <https://pdfs.semanticscholar.org/5660/81acfd4c0c6a99b72ef9e06279e1745e0ae.pdf> (pristup: 23.08.2020.)

3.5 MOBILNA MREŽA ČETVRTE GENERACIJE (4G)

Četvrta generacija mobilnih sustava, popularnija kao 4G mreža, stvorena je s ciljem postizanja visoke razine korisničkog iskustva, stvaranja potpuno drugačijih aplikacija ali i upotpunjavanja već razvijenih tehnologija. Naravno, kao i prethodne generacije tako je i 4G generacija donijela rast u brzini prijenosa podataka, poboljšanje sigurnosti podataka te modernizirane metode za prijenos podataka. 4G mreža se prvi put počela spominjati 2004. godine, točnije grupa pod nazivom 3GPP je počela razvijati LTE (*engl. Long Term Evolution*) tehnologiju, te je LTE postala jedna od vodećih tehnologija za razvoj četvrte generacije. Krajem 2008. godine LTE mreža je konačno bila definirana te je ubrzo nakon toga mnogo mobilnih operatorskih tvrtki bilo zainteresirano za njihove usluge. LTE mreža je prvi put implementirana u Norveškoj i Švedskoj, 2009. godine.⁷ Ranije spomenuta grupa 3GPP je postavila i osnovne uvjete koje mora zadovoljavati svaka od razvijenih LTE mreža, uvjeti su sljedeći: infrastruktura čija se mreža razvija na IP-u mora biti jednostavna i jeftina, kašnjenje mora biti minimalno, odnosno manje od 10 ms, brzina prijenosa mora biti do 100 Mbit/s u silaznoj vezi i 50 Mbit/s u uzlaznoj vezi, također mora koristiti razno razne frekvencijske opise.⁸

LTE Advanced je jedna vrsta nadogradnje LTE mreže koji se na tržištu pojavio 2012. godine. Glavno poboljšanje koje je donijela takozvana LTE-A mreža su brzina prijenosa podataka do 1 Gbit/s. LTE-A se zapravo, uz Mobile WiMAX Release 2 smatra prvom pravom 4G mrežom, dok se LTE i WiMAX smatraju 3.9G mrežama iz razloga što ne ispunjavaju sve karakteristike koja zahtijeva 3GPP grupa, odnosno 4G mreža. Najveće prednosti koje je sa sobom donijela 4G tehnologija su video razgovori i prijenos velikih količina podataka u kratkom vremenskom periodu. Najveći problemi koji su se pojavili skupa s 4G mrežom su zastarjeli telefoni koji opće nisu podržavali 4G mrežu te nedovoljna pokrivenost 4G mreže, tj. možda je dosta ljudske populacije i imalo telefon koji podržava 4G ali nisu mogli koristiti navedenu mrežu jer na njihovom području u to vrijeme ista nije bila dostupna. U posljednjih par godina se to promijenilo te je uporaba 4G mreže jako dobro rasprostranjena u većini područja.

⁷ T., Blajić: LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup, Dostupno s: <https://dokumen.tips/documents/lte-nova-tehnologija-za-mobilni-sirokopojasni-pristup-pdf.html> (pristup: 23.08.2020.)

⁸ A., Kumar, Y., Liu, J. Sengupta: Evolution of Mobile Wireless Communication (2010.) Dostupno s: <https://pdfs.semanticscholar.org/5660/81acfd4c0c6a99b72ef9e06279e1745e0ae.pdf> (pristup: 23.08.2020.)

| | LTE | LTE-A |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Širina frekvencijskog pojasa | 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz | 70 MHz silazna veza, 40 MHz uzlazna veza |
| Brzina prijenosa podataka (stacionarnog korisnika) | 100 Mbit/s silazna veza, 50 Mbit/s uzlazna veza | 1 Gbit/s silazna veza, 500 Mbit/s uzlazna veza |
| Modulacija | QPSK, 16QAM, 64QAM | QPSK, 16QAM, 64QAM |
| Metoda pristupa | OFDMA i SCFDMA | OFDMA i SCFDMA |

Tablica 3.5.1 Razlika u karakteristikama LTE i LTE-A mreže

Izvor: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

(pristup: 23.08.2020.)

| Oznaka generacije | Pristupna radijska mreža | Brzina prijenosa podataka | Spektralna širina |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| 1G-analogna | FDMA | - | (10-30) kHz |
| 2GGSM | TDMA-FDMA | 9,6 kbit/s | 200 kHz |
| 2,5G-GPRS | TDMA-FDMA | 171,2 kbit/s | 200 kHz |
| EDGE-2,75G | TDMA-FDMA | <=470 kbit/s | 200 kHz |
| 3G-UMTS | W-CDMA | (144 -384- 2048) kbit/s | 5 MHz |
| 3,5G-HSDPA - HSPA | W-CDMA | (14,4 -42) Mbit/s | 5 MHz |
| 3,75G-HSOPA | OFDMA | 200 Mbit/s (DL) - 100 Mbit/s (UL) (MIMO) | (1,25 - 20) MHz |
| 3,9GLTE | OFDMA | 326 Mb/s (DL4x4MIMO) | 20 MHz |
| 4G-LTE napredni | OFDMA (DL)/SC-FDMA (UL) | 1 Gbit/s (DL) - 500 Mbit/s (UL). | 70 MHz (DL) - 40 MHz (UL) |

Tablica 3.5.2 Karakteristike mobilnih mreža od 1. do 4. generacije

Izvor: B. Burazer: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, Hrvatski zavod za norme, 2014.

Tablica 3.5.2 nam zapravo ukratko prikazuje sve ono o čemu se govorilo u trenutnom poglavlju. Iz nje možemo vidjeti da je svaka nova generacija donosila nešto novo i bolje, naravno svaka generacija je imala i svojih nedostataka, jer da nije bilo istih ne bi imali potrebu za prelaskom na noviju generaciju mreže. Prednosti, nedostatke, i primarne zadatke svake od, do sada, opisanih generacija možemo pogledati u tablici ispod, odnosno tablici 3.5.3.

| Generacija | Primarni zadatak | Prednosti u odnosu na prethodnu generaciju | Nedostatci |
|-------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1G | Pozivi preko analognog signala | Brzina | Nedovoljno efikasan, nedovoljno siguran |
| 2G | Pozivi preko digitalnog signala i SMS | Bolja sigurnost, masovnija upotreba | Ograničena brzina slanja |
| 3G | Telefonski pozivi, SMS, razmjenjivanje podataka | Brži i bolji internet | Brzine prijenosa podataka nedovoljne za vrijeme u kojem je korišten |
| 3,5G | Telefonski pozivi, SMS, širokopolasno razmjenjivanje podataka | Širokopolasni Internet, mnoštvo aplikacija | Ovisan u prethodniku, arhitektura i protokoli |
| 4G | All-IP usluge (glas i poruke) | Brži širokopolasni Internet, manje kašnjenje | Nedovoljno brz za rješavanje problema u stvarnom vremenu |

Tablica 3.5.3 Ukupni pregled komunikacijskih sustava od 1. do 4. generacije

Izvor: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2015/01/Understanding-5G-Perspectives-on-future-technological-advancements-in-mobile.pdf>

(pristup: 23.08.2020.)

4. MOBILNA MREŽA PETE GENERACIJE (5G)

Mobilna mreža pete generacije nije samo nadogradnja širokopojasne mreže, kao što je do sada bio slučaj s prethodnim generacijama, 5G mreža nam pruža potpuno nove mogućnosti. Prvenstveno će donijeti izuzetno veću brzinu prijenosa podataka, kako za stacionirane korisnike tako i za korisnike koji su u pokretu (npr. u vožnji nekim od prijevoznih sredstava). Područjima slabije naseljenosti će također donijeti osjetno poboljšanje mreže, stručnjaci smatraju kako bi 5G mreža kroz par godina trebala povezati sve uređaje u jednu cjelinu koja se naziva Internet stvari, što su to Internet stvari i kako rade objasnit ćemo nešto kasnije u nastavku rada. Dolaskom 5G mreže korisnici bi trebali dobiti niz poboljšanja, točnije poboljšati će se performanse kapaciteta mreže, performanse vremena kašnjenja, odnosno latencije te će se također poboljšati i sigurnost podataka koji putuju mrežom. Još jedna prednost koju će nam donijeti 5G mreža je dulji vijek trajanja baterije uređaja koji koriste 5G mrežu, odnosno bolja energetska učinkovitost. Stručnjaci su pri izradi 5G mreže zamislili da će to raditi na način da nam svi podaci i alati budu smješteni u oblaku⁹ te da nam ti isti podatci budu dostupni u svakom trenutku i gdje god se nalazili.

Arhitektura same 5G mreže teži ka nečemu dosta „moćnijem“ i suvremenijem u odnosu na prethodne generacije. Sama arhitektura teži ka tome da može podržati jako veliki broj međusobno povezanih aplikacija koje će imati mogućnost međusobnog komuniciranja te razmjenjivanja podataka. Tako je npr. zamišljeno da vozila međusobno komuniciraju u prometu kako bi se spriječile velike gužve, prometne nesreće i gubljenje vremena u vožnji čime se automatski smanjuje ispuštanje štetnih plinova iz auta što rezultira manjim zagađenjem okoliša.

Na slici 4.1 imamo prikazanu sredinu koja je pokrivena razvijenom 5G mrežom, riječ razvijena je dodana iz razloga što se ovakav način funkcioniranja ne može očekivati odmah nakon dolaska 5G mreže, smatra se da bi ova ideja mogla zaživjeti tek nakon 10,15 godina. Do prikazanog načina funkcioniranja jedne sredine stoje još brojne prepreke, sve ovisi za koliko će stručnjaci uspjeti savladati sve prepreke koje se pred njih stave. Na slici vidimo zapravo jedan pametni grad gdje je sve povezano, i sve međusobno komunicira.

⁹ Oblak je prostor za pohranu podataka, podaci su umjesto na lokalnom tvrdom disku smješteni na nekom od internetskih servera.



Slika 4.1 Sredina pokrivena razvijenom 5G mrežom

Izvor: <https://mreza.bug.hr/ek-donijela-provedbenu-uredbu-za-5g-mreze-velikog-kapaciteta/> (pristup: 24.08.2020.)

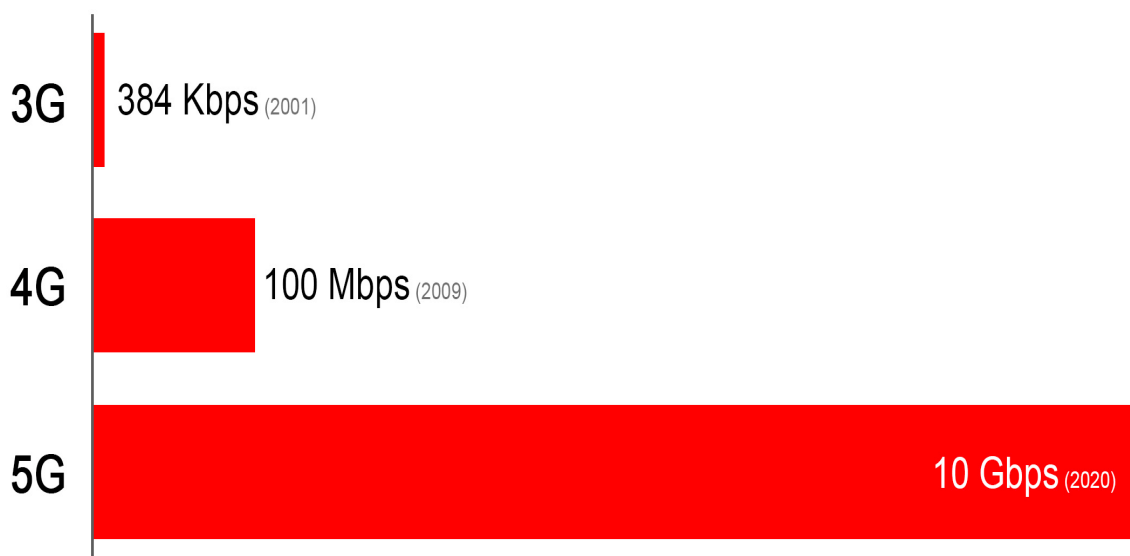
Sada se već sa sigurnošću može reći da su Pacifička Azija, Sjeverna Amerika te Zapadna Europa predvodnici 5G tehnologije. Ekonomski stručnjaci su izračunali kako bi do 2025. godine prihodi mobilnih operatera, koji budu nudili 5G mrežu, mogli iznositi oko 247 milijardi američkih dolara. Isti stručnjaci smatraju i da će godišnji prihodi od 5G mreže iznositi 65 milijardi američkih dolara te da će pokrivati 7% ukupnih prihoda operatera u svijetu. Smatra se da je od 2015. godine pa do danas potrošeno oko 25 milijardi dolara za razvoj 5G mreže.¹⁰

¹⁰ <https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/5g-revenues-forecast-to-exceed-65bn-usd-by-2025> (pristup: 24.08.2020.)

4.1 ARHITEKTURA 5G SUSTAVA

Osnovni uvjeti koje mora zadovoljavati svaki 5G sustav:

- Najmanja prosječna brzina prijenosa podataka uređaja koji nije u stanju mirovanja mora biti 1Mbit/s
- Učinkovitost radijskog spektra mora biti velika
- Sigurnost u komunikaciji mora biti na visokoj razini
- Bolja energetska učinkovitost, tj. veći vijek trajanja baterije uređaja
- Dobra radijska pokrivenost, minimalna brzina prijenosa podataka 10 Gbit/s po ćeliji
- Latencija odnosno kašnjenje ne smije biti duže od 1 ms
- Prilikom razmjenjivanja podataka potrebna je opcija podjele podataka na dva komunikacijska kanala tj. dvije pristupne mreže
- Korištenje takozvane MIMO tehnologije
- 100% pokrivenost
- Mreža mora biti pouzdana 99.99%¹¹



Slika 4.1.1 Razlika u brzini prijenosa podataka između 5G mreže i njenih prethodnika

Izvor: <https://www.reneelab.com/5g-speed.html> (pristup: 24.08.2020.)

¹¹ B. Burazer: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, Hrvatski zavod za norme, 2014.

MIMO je nova vrsta tehnologije čija kratica znači „*multiple input, multiple output*“, MIMO će raditi pomoću adaptivnih antena koje značajno povećavaju performanse tako što mijenjaju smjer i način na koji odašilju signal, ovakav način rada je vrlo povoljan za korisničke potrebe i okruženje u kojem se postavljaju antene ali i za vremenske neprilike koje često utječu na kvalitetu signala¹²

MIMO tehnologija je izrazito bitna kod 5G mreže iz razloga što ona povećava brzinu prijenosa podataka uz pomoć višestrukih antena koje se nalaze na strani primatelja i pošiljatelja. MIMO tehnologija se može koristiti pomoću dvaju metoda, prva metoda je metoda prostornog multipleksiranja koja povećava spektralnu iskoristivost, druga metoda se naziva prostorna raznolikost te ona služi za povećanje pouzdanosti radio veze. Spektralna učinkovitost je zapravo broj prenesenih bitova po sekundi. Dakle MIMO tehnologija omogućava da se u istom frekvencijskom opsegu istovremeno posluži puno veći broj uređaja, uz značajnu uštedu energije.

Način rada MIMO sustava, u odnosu na prethodnu generaciju antena, najbolje ćemo shvatiti ako proučimo sliku 4.1.1, kao što možemo vidjeti na lijevom dijelu slike se nalazi antena koja se koristi za 4G i prethodne generacije mreže dok se s desne strane nalazi takozvana MIMO antena, koje se koristi za 5G mrežu.



Slika 4.1.1 Razlika između 4G antena i MIMO antena, tj. antena koje koriste 5G sustavi

Izvor: <https://hr.gadget-info.com/14620-what-is-massive-mimo-and-how-it-paves-the-way-for-5g-adoption> (pristup: 24.08.2020.)

¹² What is Massive MIMO? (2018.), Dostupno s: <https://www.cbronline.com/answer/what-is-massive-mimo> (pristup 24.08.2020.)

Takozvana „Smart grid“ tehnologija je također jedna od korisnih aplikacija namijenjenih za 5G mrežu, navedena tehnologija, koristeći napredne informacijske i telekomunikacijske tehnologije, omogućava jednostavno upravljanje električnom energijom u svrhu uštede iste.¹³

Kako bi 5G tehnologija neometano funkcionirala potrebno je učiniti sljedeće korake:

- Razviti ćelije visoke gustoće
- Razviti mm valove
- Poboljšati dijeljenje frekvencijskog opsega
- Implementirati samoorganizirajuću mrežu
- Razviti funkcionalnu komunikaciju među strojevima
- 5G – ENSURE

4.1.1 RAZVOJ ĆELIJA VISOKE GUSTOĆE

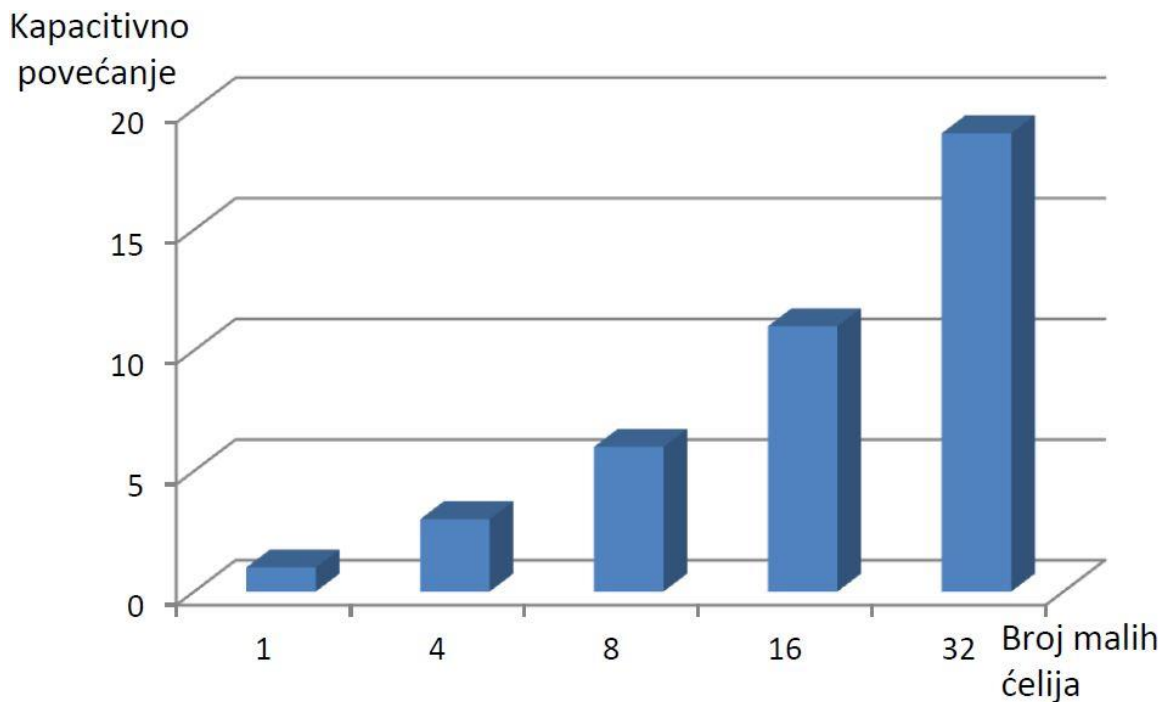
Korak razvoja manjih ćelija visoke gustoće je vrlo bitan iz razloga što će on služiti za povećanje kapaciteta 5G mreže. Ovaj korak utječe na povećanje spektralne efikasnosti u području gdje djeluju navedene ćelije. Postavljanje manjih ćelija visoke gustoće se može odvijati dvama načinima:¹⁴

- Prvi način je da se manjim ćelijama s visokom gustoćom preklope već postojeći ćelijski sistemi.
- Drugi način je da se manje ćelije s visokom gustoćom preklope različitim tehnologijama (npr. HSPA, LTE, LTE- A itd.).

Svjetski najuspješnija kompanija za povećanje kapaciteta mreže, poznatija pod nazivom „Qualcomm“, sprovela je istraživanje i dokazala kako se pri dodavanju manjih ćelija visoke gustoće linearno povećava i kapacitet mreže, odnosno kapacitet mreže postaje dvostruko veći svaki puta kada udvostručimo broj manjih ćelija. Upravo to nam pokazuje i slika 4.1.1.1.

¹³ Quoc Ngo H: Massive MIMO: Fundamentals and System Designs, Linköping, 2015. Dostupno s: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf> (pristup: 24.08.2020.)

¹⁴ Rodriguez, J: Fundamentals of 5G mobile networks, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK, 2015.



Slika 4.1.1.1 Sukladno s brojem malih ćelija raste i kapacitet mreže

Izvor:

<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1553/datastream/PDF/view>

(pristup: 24.08.2020.)

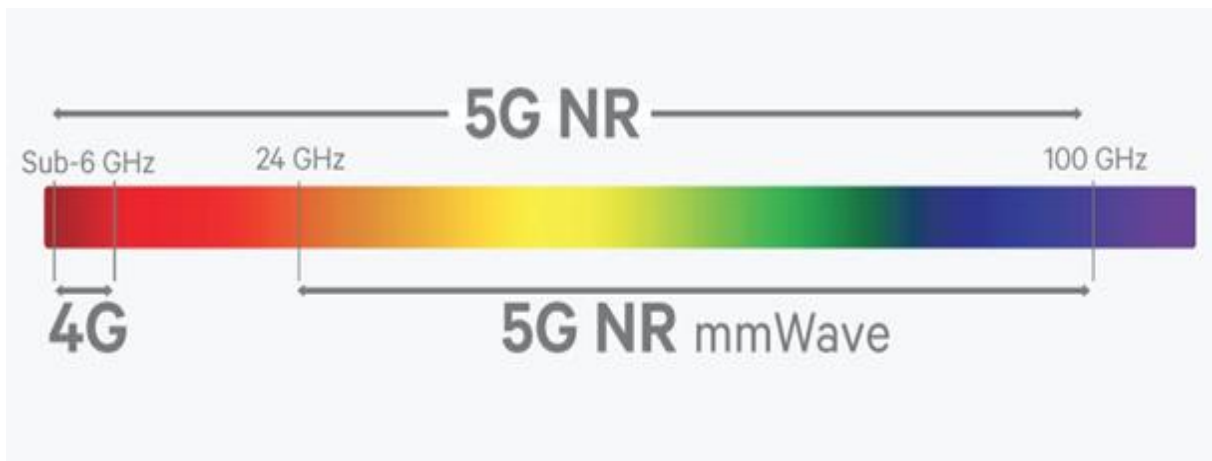
4.1.2 MM VALOVI

Glavnu ulogu u razvoju mobilnih mreža imaju frekvencijski spektra. 5G mreža može opstati jedino pomoću slobodnog frekvencijskog spektra viših frekvencija u suradnji sa prethodno korištenim frekvencijskim spektrom. Ključni cilj u ostvarivanju 5G tehnologije je nastanak novog frekvencijskog spektra, koji je u mogućnosti zadovoljiti sve zahtjeve nove 5G mreže. Takav korak nije ostvariv bez proširenja pojasne širine u visoke frekvencije, takve frekvencije se zapravo nazivaju milimetar valovi ili MM valovi. Ćelije koje se koriste u MM valovima su mikro, piko i femto, sve tri ćelije zapravo kontrolira makro ćelija.

MM valovi se prema kategoriji dijele na:

- MM valove u frekvencijskom opsegu od 20 do 40 GHz koje koriste mikro ćelije
- MM valove koji rade na frekvencijama od 60 GHz pa nadalje, koriste ih piko i femto ćelije

Srazmjerno rastu broja mobilnih uređaja pada broj slobodnog frekvencijskog spektra, uzrok toge je zagušenje postojećeg frekvencijskog spektra. Dolaskom pete generacije mobilnih sustava operateri će biti prisiljeni drastično proširiti opseg dostupnosti mobilne mreže. Uz sve prednosti koje nam donose milimetarski valovi oni imaju i svojih nedostataka, njihov problem leži u niskom dometu, osjetljivosti na prepreke, osjetljivosti na vremenske promjene itd.



Slika 4.1.2.1 Razlika frekvencijskog spektra između 4G i 5G mreže
Izvor: <http://i4consulting.org/qualcomm-5g-antenna/> (pristup: 24.08.2020.)

4.1.3 DIJELJENJE FREKVENCIJSKOG OPSEGA

Kako bi prijenos podataka između uređaja u mreži bio izvediv svaki od uređaja mora koristiti određeni frekvencijski opseg, zahtjev 5G mreže je da se razviju sustavi koji će maksimalno poboljšati učinkovitost korištenja frekvencijskih opsega. Primjer jednog takvog sustava je takozvani sustav „vidno polje“, navedeni sustav radi na frekvencijskom opsegu do 100 GHz, zatim više frekvencijskih opsega spaja u jedan kako bi smanjio veličinu komponenti u uređaju koji koristi mrežu. Na taj se način pomoću navedenog sustava povećava djelotvornost frekvencijskog spektra.

Podjela frekvencijskog opsega se sastoji od tri komponente: frekvencije, vremena i lokacije te je istovremeno može koristiti više korisnika. Po prioritetu pristupanja u radijski spektar metode za dijeljenje frekvencijskog opsega se dijele u 3 grupe:¹⁵

¹⁵ Prasad,R: 5G:2020 and beyond, River Publishers, Aalborg, 2014. Dostupno s: https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_E9788793237131.pdf (pristup: 24.08.2020.)

- Horizontalno dijeljenje frekvencijskog opsega, gdje svaki uređaj ima jednaka prava kod pristupanja spektru
- Vertikalno dijeljenje frekvencijskog opsega, gdje imamo primarne korisnike koji upravljaju prioritetima kod pristupanja spektru
- Hijerarhijsko dijeljenje frekvencijskog opsega, poznata i kao inovativna opcija vertikalnog dijeljenja spektra

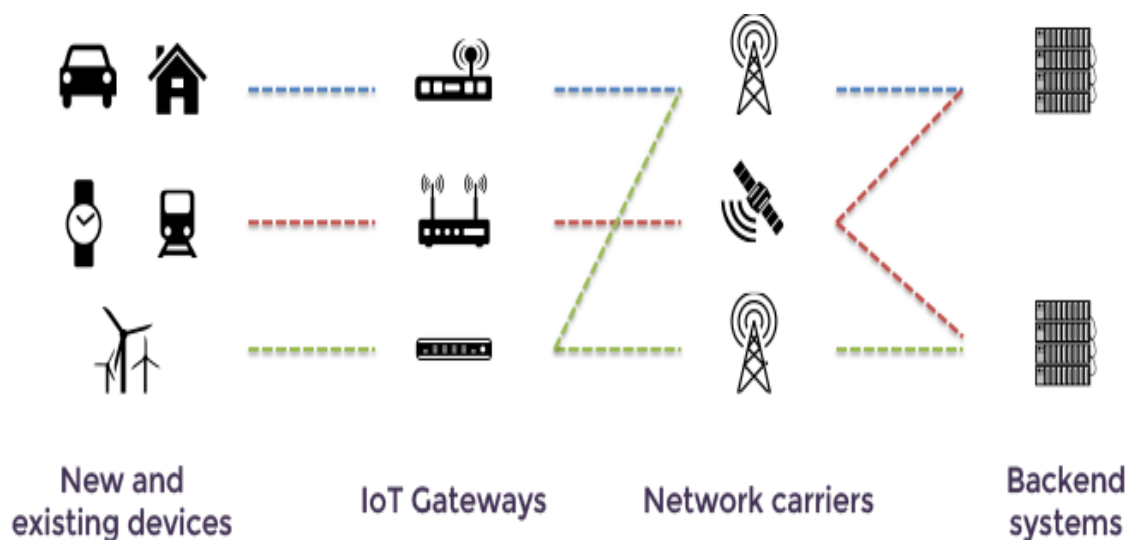
4.1.4 SAMOORGANIZIRAJUĆA MREŽA

Samoorganizirajuća mreža također igra jako bitnu ulogu u razvoju 5G mreže, tj. s porastom broja manjih ćelija s visokom gustoćom rasti će i važnost uloge samoorganizirajuće mreže. Poznato je da su unutar zatvorenog prostora, odnosno kuća, zgrada itd. odvija 80% bežičnog prometa. Kako bi prijenos velikih količina podataka unutar zatvorenog prostora bio moguć potrebno je više malih ćelija visoke gustoće. Postavljanje takvog sustava te održavanje istog neće obavljati davatelji usluga nego sami korisnici mobilnih mreža. Kako korisnici ne bi imali velikih poteškoća sa implementacijom takvog sustava mreža mora raditi na principu „uključi i radi“ (*engl. plug and play*), odnosno mora imati sposobnost da automatski prepozna novi uređaj te sukladno njemu počinje sa radom aplikacije ili programa. Iz tog razloga se ova mreža još naziva i pametna mreža, nakon što korisnik uključi sustav on će sam, u odnosu na susjedne mreže, morati odrediti prikladan frekvencijski spektar, cilj ovog postupka je svođenje interferencije signala na minimalnu razinu. Samoorganizirajuća mreža mora znati odlučiti kada će koristiti niže frekvencije a kada frekvencije visokog spektra, odluka ovisi o potrebi brzine za prijenos podataka. Ovakav sustav rada u veliko dovodi do uštede električne energije te baterije uređaja koji se koriste u sustavu, samim time produžuje i životni vijek navedenih uređaja.¹⁶

¹⁶ Stamenković S: Heterogene mobilne mreže. Dostupno s: <http://telekomsvet.blogspot.hr/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html> (pristup: 25.08.2020.)

4.1.5 KOMUNIKACIJA MEĐU STROJEVIMA

Razviti komunikaciju među strojevima (*engl. Machine to Machine – M2M*) znači razviti sustav u kojemu strojevi međusobno komuniciraju i surađuju bez potrebe za ljudskom asistencijom. Smatra se da će M2M sustavi imati vrlo veliku i široku primjenu pa će tako biti prisutni u prometnim mjerenjima, zdravstvenom sustavu, udaljenom nadzoru, upravljanju te praćenju vozila, itd. Svaki M2M sustav radi na principu da sadržava neki od uređaja kao što su senzor ili brojilo koji osluškiju i primaju događaje, uređaji mogu biti namijenjeni za detektiranje npr.: promjene temperature, promjene količine određene stvari, položaja, lokacije itd. M2M sustav zapravo preko mobilne mreže uspostavlja komunikaciju između nekog od uređaja i aplikacije zatim se taj događaj šalje na korisničku aplikaciju koja obrađuje i definira zaprimljene podatke i informacije nakon čega, sukladno njima, poduzima neku od ranije definiranih akcija, npr.: pali klimu, nadopuni posudu, uključuje kamere itd. Na slici 4.1.5.1 vidimo slikoviti opis principa na koji funkcionira komunikacija među strojevima, odnosno M2M sustav.



Slika 4.1.5.1 Arhitektura M2M sustava

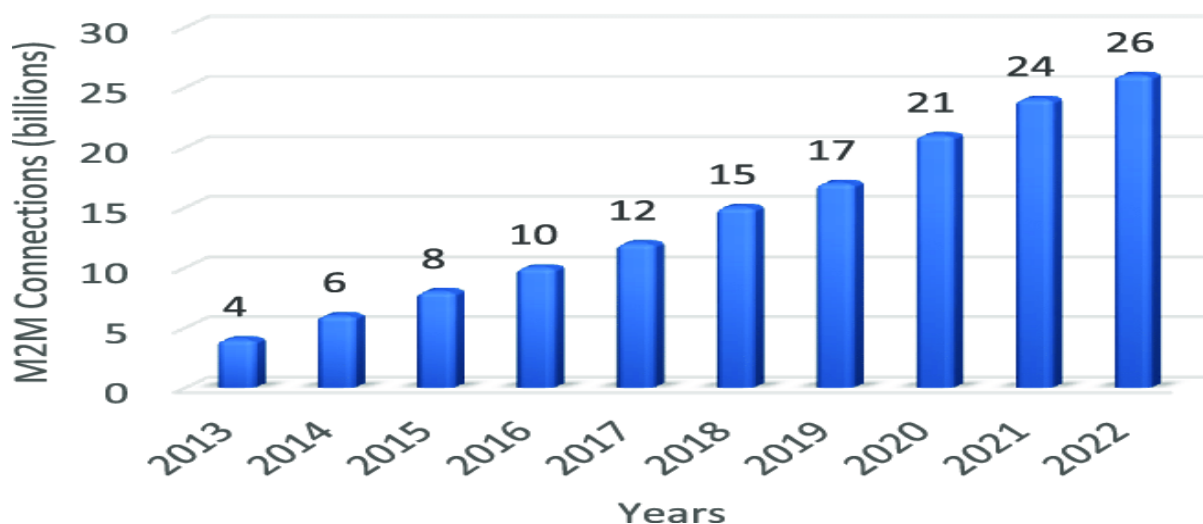
Izvor: <https://medium.com/predict/an-era-of-iot-machine-to-machine-communication-m2m-9a7861665b4c> (pristup: 25.08.2020.)

U današnje vrijeme su M2M aplikacije uveliko već implementirane u svaki industrijski sektor. Među najčešćima od njih su sustavi u vozilu poput e-poziva, sustavi za

satelitsko praćenje vozila, sustavi napajanja električnih automobila, pametne mreže koje reguliraju potrošnju električne energije, inteligentni sustavi za mjerenje, sustavi za mobilnu zdravstvenu skrb itd.¹⁷

Iako je sustav M2M već u uporabi postoji zapravo još mnogo pitanja koja bi stručnjaci trebali riješiti prije nego što M2M sustav dostigne svoj vrhunac, odnosno masovnu uporabu. Neka od otvorenih pitanja su kako riješiti:

- Poslovne modele i suradnju u industriji
- Standardizacijske aktivnosti
- Sigurnost u M2M sustavima
- Zahtjeve na komunikacijske mreže
- Identificiranje i adresiranje u M2M sustavima
- Regulatorne aspekte¹⁸



Slika 4.1.5.2 Rast popularnosti M2M sustava

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Number-of-Machine-to-Machine-M2M-connections-in-mobile-105_fig28_280873356 (pristup: 25.08.2020.)

Slikom 4.1.5.2 je prikazan nezaustavljivi rast popularnosti M2M sustava. Ova slika nam zapravo govori da će upotreba M2M sustava iz godine u godinu sve više rasti te da će kroz koju godinu M2M sustav biti sastavni dio svakog uređaja.

¹⁷ <https://www.ericsson.hr/m2m-rjesenja> (pristup: 25.08.2020.)

¹⁸ <http://www.infotrend.hr/clanak/2014/10/m2m-izazovi,81,1092.html> (pristup: 25.08.2020.)

4.1.6 5G – ENSURE

5G – ENSURE (engl. *Enablers for Network and System Security and Resilience*), kao što možemo zaključiti i iz samog imena radi se o sustavu koji se „brine“ za sigurnost i elastičnost 5G mreže. U prethodnim poglavljima rada je objašnjeno kako će 5G platforma biti značajno više razdvojena od hardvera i fizičke kontrole mreže u odnosu na prethodne generacije što rezultira i vrlo većom vjerojatnošću za preusmjeravanjem i krađom samih podataka koji putuju mrežom. Zadaća 5G – ENSURE sustava je osigurati sigurnost mreže pete generacije, to namjeravaju učiniti:

- Autorizacijom korisnika
- Osiguranjem privatnosti
- Povećanjem povjerenja
- Sigurnosnim nadgledanjem
- Upravljanjem mrežom.

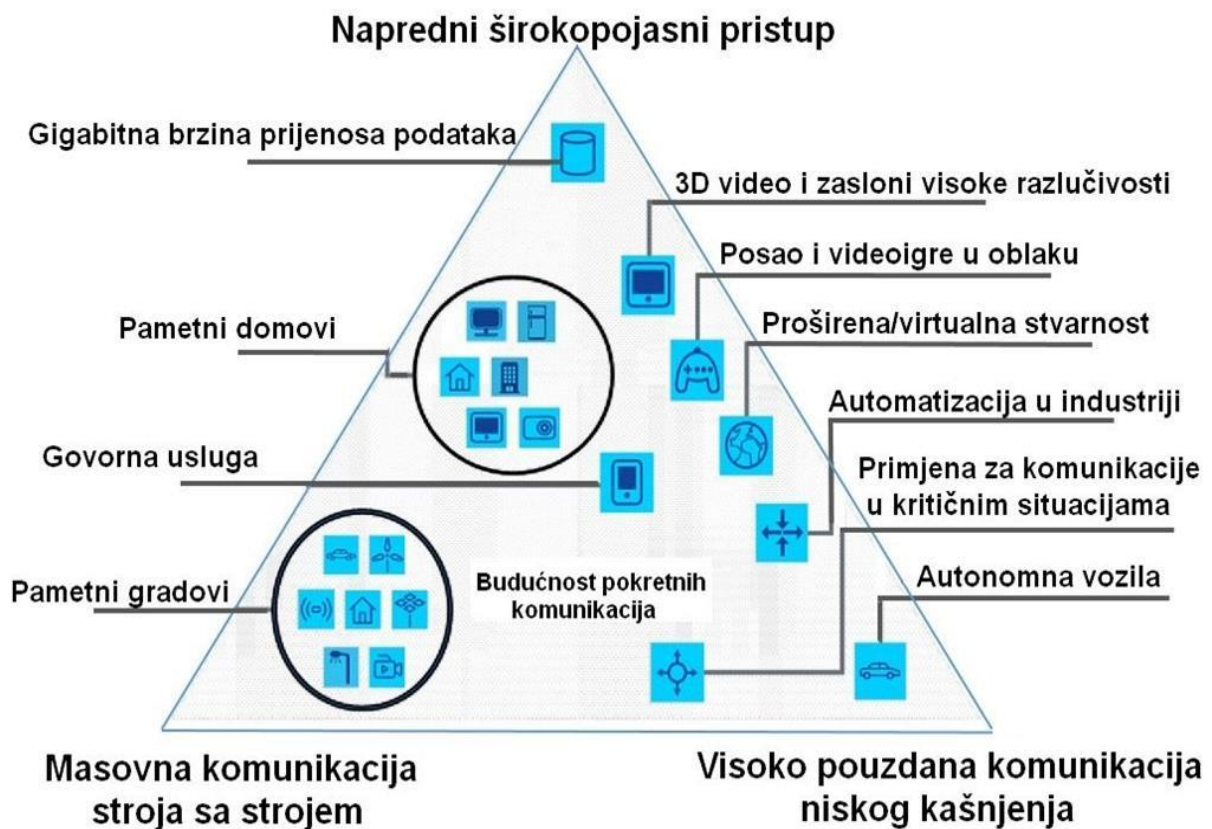
Glavna svrha ovog sustava je postaviti dobre temelje za sve buduće sustave vezane uz sigurnost 5G mreže. Kako bi to bilo uspješno izvedeno postavljeni su sljedeći zahtjevi:

- Prikupljanje, analiza i postavljanje sigurnosnih zahtjeva
- Definiranje sigurnosne arhitekture 5G mreže
- Određivanje, razvijanje i testiranje sigurnosnih aspekata mreže
- Demonstriranje potencijala mreže široj javnosti
- Reklamiranje i predstavljanje rezultata projekta.¹⁹

¹⁹ W. Mohr, M. Campolargo The 5G Infrastructure Public Private Partnership (5G PPP): First Wave of Research & Innovation Projects (2016.), Dostupno s: <http://superfluidity.eu/wp-content/uploads/5GPPP-brochure-draft02.pdf> (pristup: 25.08.2020.)

5. UPOTREBA 5G MREŽE

Sa sigurnošću se može reći da 5G mreža polako ali sigurno korača prema svome cilju. Kako se razvija 5G mreža tako se i današnji sustavi prilagođavaju istoj. Smatra se da će 5G mreža upravo zbog svoje brzine i male latencije unaprijediti svaki oblik zabave, komunikacije, sigurnosti ali i poslovanja. 5G mreža će uveliko unaprijediti širokopojasnu povezanost u gusto naseljenim područjima te daljinsko upravljanje strojeva koji rade u opasnim okruženjima (npr. rudnik, visoka gradilišta itd.). Mreža pete generacije će također naći svoje mjesto i u medicini, poljoprivredi te razno raznim industrijama. Još jedna od velikih prednosti 5G sustava smatra se sigurnost mreže te niska potrošnja električne energije. Gdje će se sve koristiti i što će nam sve donijeti 5G mreža možemo vidjeti na slici 5.1. Vidimo da je slika podijeljena u dvije kategorije, s lijeve strane se nalazi tehnologija koja će više koristiti komunikaciju između strojeva dok se s desne strane nalazi tehnologija koja je ovisna o visokoj brzini prijenosa podataka te o niskoj latenciji, odnosno minimalnom vremenu kašnjenja.



Slika 5.1 Upotreba 5G sustava

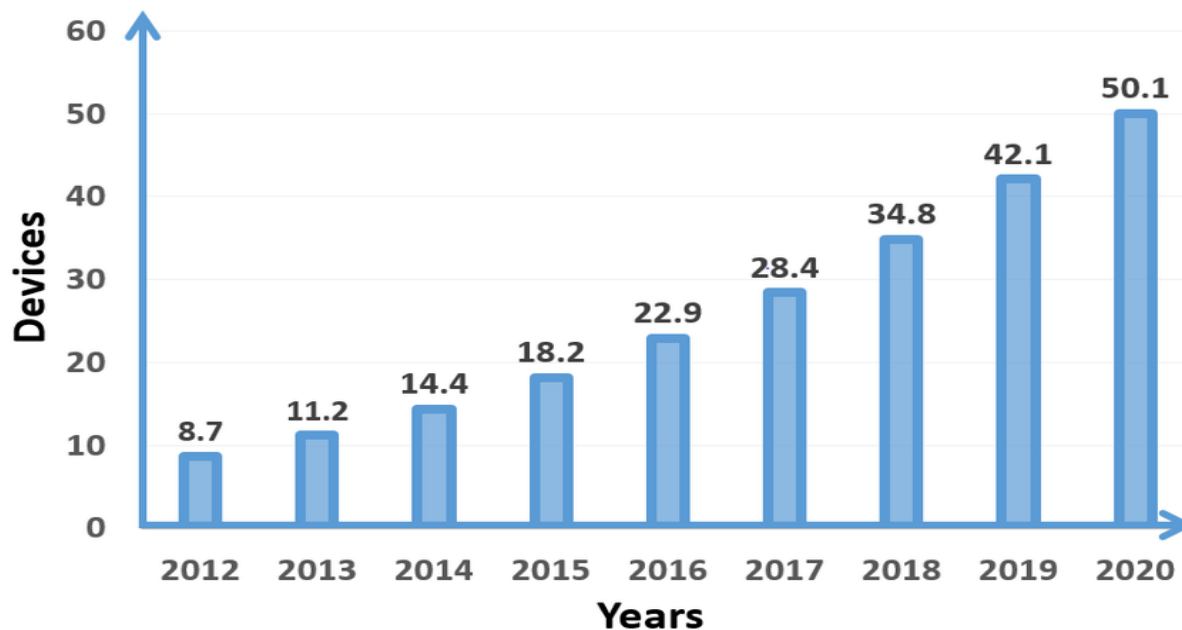
Izvor: <https://www.hakom.hr/default.aspx?id=10324> (pristup: 26.08.2020.)

5.1 INTERNET STVARI

Internet stvari (*eng. Internet of Things – IoT*) je sustav koji radi na temelju ugrađenih senzora koji skupljaju informacije iz okoline te ih putem komunikacijske mreže šalju na obradu, komunikacija između senzora i platforme se odvija putem mrežnog pristupnika. Platforma IoT sustava se obično temelji na oblaku, pomoću oblaka se odvija obrada i analiza podataka te bez istog ne bi bio ostvariv cjelokupni IoT sustav. Smatra se da je IoT sustav glavni pokretač digitalizacije gospodarstva i društva. IoT sustav je jako rasprostranjen u svijetu, smatra se da danas postoji oko 700 milijuna pametnih uređaja koji rade na principu IoT-a, to su uređaji poput pametnih: mobitela, satova, hladnjaka, klupa itd. za koje smo svi zasigurno čuli. Svaki od navedenih pametnih uređaja funkcionira na dosta sličan način, imaju ugrađen jedan ili više senzora od kojih svaki senzor mjeri drugačije podatke, zatim se ti podatci procesuiraju kako bi bili razumljivi čovjeku. Kao što i sami znamo ovakvi uređaji imaju mogućnost bilježenja i pamćenja ponašanja korisnika te na osnovu toga donose neke svoje predloške, primjer toga su najposjećenije internetske stranice na pametnom telefonu koje nam uređaj sam stavlja u favorite s ciljem bržeg pristupa istima. IoT sustav je dosta dobro razvijen u današnjem svijetu ali je činjenica da on nije ni blizu svog vrhunca, upravo bi 5G mreža trebala značajno razviti i uveliko proširiti uporabu IoT sustava. Smatra se da je krajem 2019. godine, bez pametnih telefona, prijenosnih računala, tableta i sl., okvirni broj povezanih IoT uređaja iznosio 9.5 milijardi, također se predviđa da će zahvaljujući 5G mreži broj takvih uređaja do 2025. godine narasti na 28 milijardi.²⁰ 5G mreža bi u suradnji sa IoT sustavima trebala donijeti sasvim nove i do prije par godina nezamislive tehnologije. Tako se planira uvođenje sustava kao što su pametni gradovi, pametno zdravstvo, pametna poljoprivreda, pametne kuće, pametna industrija, pametni promet itd.²¹

²⁰ [K. Lasse Lueth](https://iot-analytics.com/iot-2019-in-review/) - IoT 2019 in Review (2020.), Dostupno s: <https://iot-analytics.com/iot-2019-in-review/> (pristup: 27.08.2020.)

²¹ mr. sc. I. Livaja, mag.ing.comp. Z. Klarin - UTJECAJ 5G MREŽE NA INTERNET STVARI (2020.), Dostupno s: <https://hrcak.srce.hr/241620> (pristup: 27.08.2020.)



Slika 5.1.1 Ukupan broj povezanih uređaja u IoT sustavima (izražen u bilijunima)

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Number-of-connected-IoT-devices-from-2012-to-2020_fig2_327272757 (pristup: 27.08.2020.)

Na slici 5.1.1 možemo vidjeti rast upotrebe IoT sustava u razdoblju od 2012. pa do 2020. godine, iz slike zaključujemo da broj povezanih uređaja neprestano raste te se predviđa da će se cifre u narednim godinama i utrostručiti.

5.1.1 PAMETNA KUĆA

Sustav pametne kuće funkcionira na način da su uređaji poput hladnjaka, termostata, robotskog usisivača, vrata, rasvjete, kamera, televizora, pećnice, klimatizacije itd. međusobno povezani te tvore jednu cjelinu, kontroliraju se pomoću središnjeg izvora koji može biti pametni telefon, računalo, tablet itd. Sustav je napravljen tako da spomenuti uređaji međusobno komuniciraju te donose odluku na temelju ranije postavljenih zadataka, npr. ako termostat pošalje podatak da je temperatura porasla iznad unaprijed postavljenog limita, klimatizacijski sustav se automatski pali, bez potrebe za ljudskom asistencijom.²² Pametne kuće su već sada uveliko u upotrebi te se ne može reći da je to budućnost, naravno kako se bude razvijala 5G tehnologija tako će se i pametne kuće sve više modernizirati. Jedna od većih prednosti pametnih

²² mr. sc. I. Livaja, mag.ing.comp. Z. Klarin - UTJECAJ 5G MREŽE NA INTERNET STVARI (2020.), Dostupno s: <https://hrcak.srce.hr/241620> (pristup: 27.08.2020.)

kuća je očuvanje resursa zemlje. Pametne kuće su implementirane na način da što više koriste sunce i obnovljive izvore energije tako što se koriste solarnim panelima ali i kontroliranju prozorske pokrivače koji, ako su rašireni, ne dozvoljavaju sunčevoj svjetlosti da daje toplinu i rasvjetu domu. Zanimljiv je podatak da je prije tridesetak godina televizor posjedovalo samo u 30% obitelji, dok je telefon bio dostupan samo u većim gradovima.²³ Iz ovog podatka zapravo vidimo koliko je brzo napredovala tehnologija ali samo društvo.

Na slici 5.1.2.1 je prikazan interijer pametne kuće, vidimo da su svi uređaji međusobno povezani u jednu cjelinu s ciljem mogućnosti međusobne komunikacije.



Slika 5.1.2.1 Interijer pametne kuće

Izvor: <https://www.securitysee.com/2017/09/pametna-kuca-kao-koncept-modernog-zivota/> (pristup: 27.08.2020.)

²³ KAKO SE U 50 GODINA PROMIJENIO NAŠ DOM, Dostupno s: <http://tnative.tportal.hr/pametne-kuce-u-hrvatskoj/> (pristup: 27.08.2020.)

5.1.2 PAMETNI GRAD

Kako sve više ljudi prelazi iz ruralnih dijelova u gradove, gradovi postaju sve zasićeniji pretrpaniji što dovodi do prezasićenosti, loše organizacije i lošeg upravljanja gradskim resursima. Kako bi se učinkovitost i ekonomičnost gradskih resursa održala na prihvatljivoj razini potrebna je bolja organizacija, ista se namjerava postići moderniziranjem gradova, odnosno uvođenjem sustava „Pametni grad“. Pametni grad je zapravo jedno urbano područje koje koristi informacijsku, komunikacijsku tehnologiju te razne uređaje koji su povezani u mreži s ciljem pružanja kvalitetnijeg načina života. Ovaj sustav se koristi raznim vrstama elektroničkih senzora čija je zadaća prikupljanje podataka koji se zatim mobilnom mrežom šalju na obradu. Senzori prikupljaju podatke građana, uređaja i imovine koji zatim služe za praćenje i upravljanje prometnicama i transportima, opskrbom električne energije i vode, hitnim službama, školama itd. Informacijska i komunikacijska tehnologija je uz ovakav sustav vrlo učinkovita u poboljšanju kvalitete života ali i u uštedi vremena i novaca samih građana.²⁴ U globalu pametni grad uz pomoć tehnologije upravlja cjelokupnom gradskom infrastrukturu, tako pametni grad može biti još i dio gradskog prijevoza, parkinga, javnog prijevoza, gradske rasvjete, signalizacije itd. Budućnost razvoja pametnog grada je vrlo zahtjevna te se smatra da će dobra 5G infrastruktura moći bez problema podnijeti taj teret.²⁵

5.1.3 PAMETNO ZDRAVSTVO

Pametno zdravstvo je zdravstveni sustav koji koristi prenosive uređaje te brzu mobilnu mrežu kako bi omogućio bolju dijagnostiku, kvalitetniji tretman pacijenata te u globalu bolju povezanost cijelog zdravstvenog sustava. Jedan od jednostavnijih primjena takozvanog sustava „Pametno zdravstvo“ je udaljeno praćenje pacijenta, gdje se u realnom vremenu može pratiti zdravstveno stanje bilo kojeg pacijenta. Ovaj sustav također služi za praćenje medicinske opreme u realnom vremenu, cijeli sustav podupire brže donošenje odluka i pametno upravljanje cijelim zdravstvenim sustavom. Jedna od najiščekivanijih mogućnosti pametnog zdravstva je svakako operacija na daljinu, tako je tim ruskih medicinski stručnjaka u Moskvi, krajem 2019. godine, izveo operaciju u realnom vremenu koja se odvijala na daljinu te je u istoj uspješno

²⁴ <https://korak.com.hr/pojam-pametnog-града/> (pristup: 27.08.2020.)

²⁵ mr. sc. I. Livaja, mag.ing.comp. Z. Klarin - UTJECAJ 5G MREŽE NA INTERNET STVARI (2020.), Dostupno s: <https://hrcak.srce.hr/241620> (pristup: 27.08.2020.)

odstranjeno tumorsko tkivo pacijenta. Za ovakvu operaciju im je bio potreban laparaskopski uređaj, 4G kamera, anesteziološka konzola, dodatne 5G kamere, te Huawei-ev sustav posebno razvijen za medicinske svrhe. Sličan kirurški zahvat temeljen na 5G tehnologiji se odvio u Ožujku 2019. godine, tada je kirurg iz grada Sanya imao zadatak ugraditi uređaj za stimulaciju mozga pacijentu koji je bolovao od Parkinsonove bolesti, pacijent se nalazio u operacijskoj sali koja se nalazila u 3000 km udaljenom Pekingu, operacija je uspješno izvedena.²⁶



Slika 5.1.3.1 Ilustracija operacije na daljinu

Izvor: <https://www.pinterest.com/pin/821555157010408166/> (pristup: 27.08.2020.)



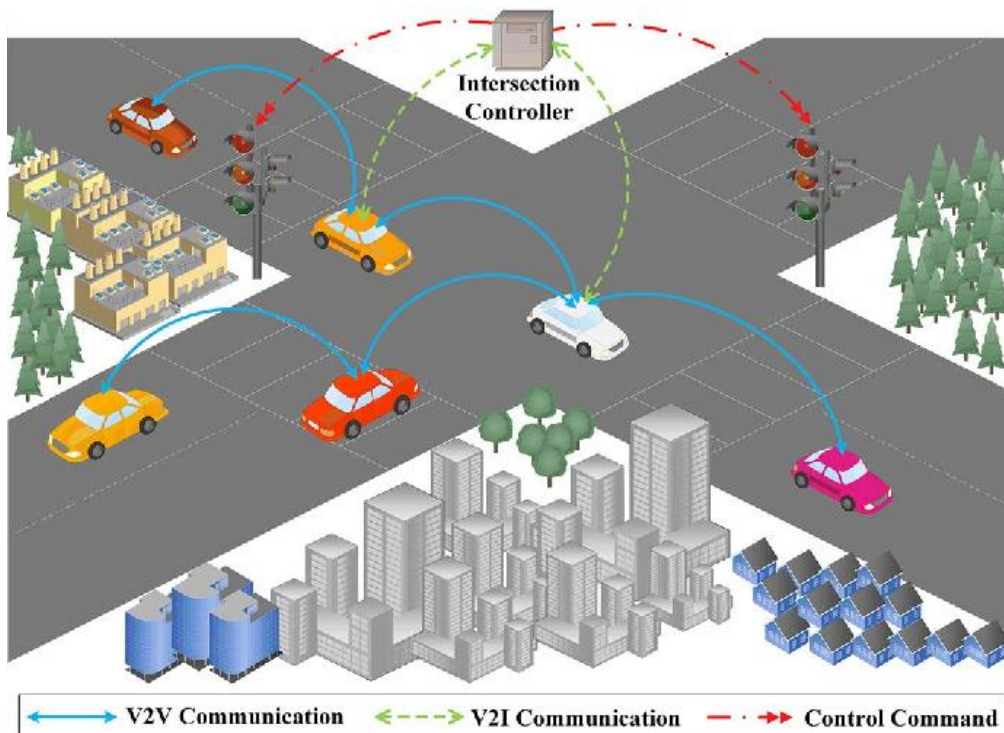
Slika 5.1.3.1 Stvarna slika operacije na daljinu koja se odvila u Kini

Izvor: <https://newsbeezzer.com/aus/china-performs-first-5g-remote-operation-news-opinion/> (pristup: 27.08.2020.)

²⁶ D. Tomić - 5G u medicini: Udaljene operacije preko Huawei mreže (2020.) Dostupno s: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/5g-u-medicini-udaljene-operacije-preko-huawei-mreze> (pristup: 27.08.2020.)

5.1.4 PAMETNI PROMET

Kako se diljem svijeta iz dana u dan sve više povećava potreba za mobilnošću tako se gomilaju problemi u prometu, nastaju prometne gužve, ubrzavaju se klimatske promjene te se narušava kakvoća zraka. Pojavom ovih problema nastala je i pojava za razvojem sigurnog i ekološki prihvatljivog transportnog sustava. Tako je i nastao sustav „Pametni grad“, naime radi se o sustavu gdje će se pomoću velike količine senzora pratiti svaki detalj u prometu te će se sam promet prilagođavati podacima koje su očitali senzori. Svjedoci smo da su se autonomna vozila i u današnje vrijeme toliko unaprijedila da im skoro i ne treba vozač, sukladno tome vjerujemo da nismo daleko od pametnih automobila kojima nije potrebna ljudska asistencija. Osim pametnih, automobila pametni bi promet imao mogućnost praćenja gužve na cestama te bi o istima automatski obavještavao automobile s kojim bi bio međusobno povezan 5G mrežom. Tako je izraelska tvrtka razvila sustav za sigurnost pješaka u prometu, naime radi se o sustavu koji pomoću lokacijske usluge na telefonima prepoznaje pješake te obavještava vozila koja se nalaze u blizini, vozila su također povezana 5G sustavom na mobilnu mrežu, sustav je sposoban prepoznati pješake na udaljenosti od 180 metara, što je i više nego dovoljno za pravovremenu reakciju vozača ili samog automobila. U konačnici možemo zaključiti da bi sustav pametnog prometa uveliko povećao sigurnost na cesti ali i smanjio vrijeme putovanja te gužvu na cestama.



Slika 5.1.4.1 Primjer pametnog križanja

Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Hierarchical-Framework-for-Intelligent-Traffic-in-Li-Hassan/9c72c698be54d39f13766c797c6d065c250ef67a>

(pristup: 27.08.2020.)

Na slici 5.1.4.1 možemo vidjeti jedan klasični primjer sustava pametnog prometa, radi se o križanju u kojemu su sva vozila povezana s kontrolnom kutijom ali i s drugim vozilima. Zadatak kontrolne kutije je da pomoću podataka, koje dobiva iz vozila, upravlja svjetlosnom signalizacijom križanja odnosno semaforima. Cilj prikazanog sustava nije da ravnomjerno propušta promet iz svih smjerova, kao što to rade klasični semafori, nego da propušta promet po potrebi, što znači da ako iz jednog pravca nema prometa signalizacija neće dozvoliti da automobili iz drugog pravca bespotrebno čekaju. Ovakav sustav omogućuje da se na križanjima stvaraju znatno manje gužve te samim time štedi vrijeme vozača, potrošnju goriva ali i čuva okoliš.

6. RASPROSTRANJENOST 5G MREŽE

Sada već sa sigurnošću možemo potvrditi da je istočna Azija globalni lider u pokretanju mreže pete generacije. Prva mobilna mreža u svijetu pokrenuta je 3. travnja 2019. godine u 23 sata po lokalnom vremenu, pokrenule su je tri vodeće Južnokorejske telekomunikacijske tvrtke, SK Telecom, KT i LG Uplus. Južna Koreja je ubrzala pokretanje pete generacije mobilne mreže s ciljem rasta ekonomije. Južnokorejski telekomunikacijski operater KT je potvrdio da su 2019. godinu završili s ukupno 1,42 milijuna 5G pretplatnika, tvrtka Telco je objavila da je njihov prihod, u istoj godini, od strane 5G infrastrukture iznosio 1.59 milijardi eura što čini 68% njihovih ukupnih prihoda, SK Telecom je izvijestio da je ukupni broj 5G pretplatnika iznosio 2,08 milijuna krajem 2019. godine, posljednji 5G operater, točnije LG Uplus je dostigao brojku od 1,16 milijuna 5G pretplatnika u 2019. godini. Najveći Južnokorejski telekomunikacijski operateri očekuju da će do kraja 2020. godine broj 5G pretplatnika doseći brojku između 6 i 7 milijuna.²⁷

5G mreža je trenutno rasprostranjena po cijelom svijetu, točnije 5G mreža je implementirana u 378 gradova koji su raspoređeni u 34 države. Vodeća država po rasprostranjenosti 5G mreže je Južna Koreja, ona broji čak 57 gradova pokrivenih 5G signalom, slijede je Sjedinjene Američke Države u kojima je u 50 gradova dostupan 5G signal te je na trećem mjestu Ujedinjeno Kraljevstvo koje ima 31 aktivan 5G grad. Države u kojima je također dobro razvijena 5G mreža su Saudijska Arabija, Španjolska, Ujedinjeni Arapski Emirati, Australija, Njemačka te Rumunjska, sve nabrojane države se ujedno nalaze u 10 najrazvijenijih 5G država.²⁸

Bitno je naglasiti da su to sami početci 5G mreže i da je to sve još daleko od onoga što će 5G infrastruktura dostići. Može se reći da je širenje 5G mreže trenutno zaustavljeno zbog pandemije korona virusa, smatra se da će se globalno tržište telekomunikacijskih usluga potpuno opraviti do 2022. godine, također se smatra da će do 2023. godine broj

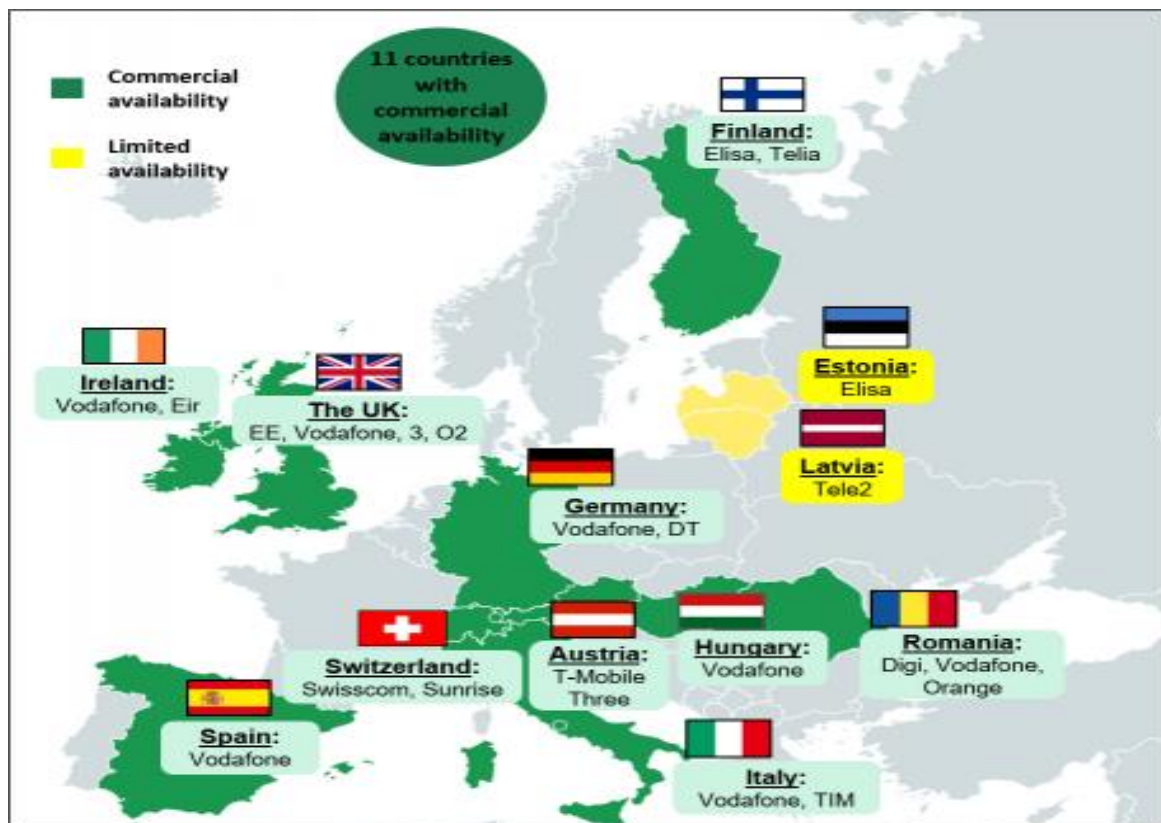
²⁷ G. Knezović - Istočna Azija globalni lider 5G mreža (2020.) Dostupno s: <https://mreza.bug.hr/telekom-operatori-u-kini-juznoj-koreji-i-japanu-predvode-u-uvodenju-5g-mreza-u-svijetu/> (pristup: 28.08.2020.)

²⁸ L. Whitney - 5G expands to 378 cities across 34 countries (2020.), Dostupno s: <https://www.techrepublic.com/article/5g-expands-to-378-cities-across-34-countries/> (pristup: 28.08.2020.)

spojenih uređaja na 5G mrežu dostići brojku od 3,2 milijarde, dok se do 2024. godine očekuje milijardu povezanih uređaja.²⁹

6.1 5G MREŽA U EUROPI

Prva Europska država s aktivnom 5G mrežom je bila Finska, u ovu državu je 5G mreža implementirana u lipnju 2018. godine od strane Finske telekomunikacijske tvrtke pod nazivom „Elisa“. 2019. godina je za europsko tržište bila vrlo uspješna što se tiče razvoja 5G mreže, tako je 2019. godine ukupan broj država s 5G infrastrukturom skočio na 11, te se na istoj brojci zadržao i do danas. Velika Britanije je poznata kao jedina država u Europi u kojoj svi telekomunikacijski operateri pružaju 5G uslugu, dok u Austriji, Njemačkoj, Irskoj, Italiji i Rumunjskoj istu uslugu pružaju 2 ili više operatera.³⁰



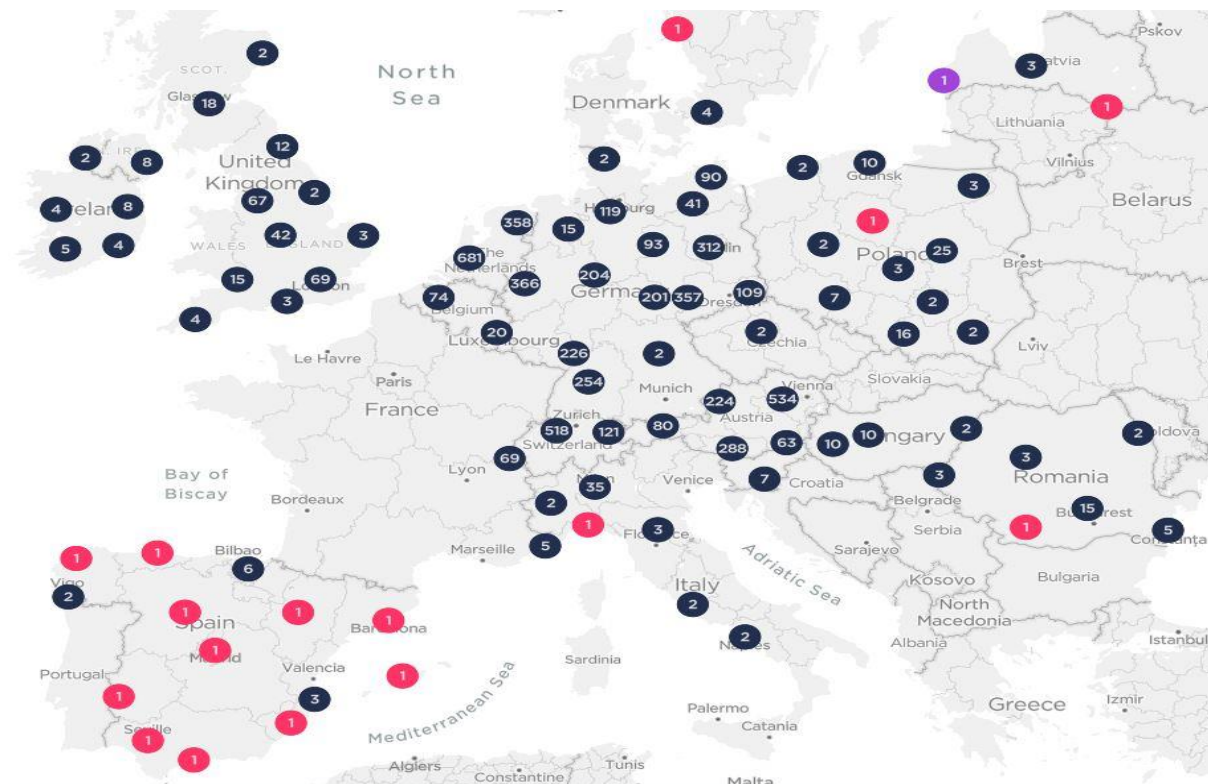
Slika 6.1.1 Europske države u kojima je implementirana 5G infrastruktura

Izvor: <https://5g-ppp.eu/newsletter-19/> (pristup: 29.08.2020.)

²⁹ K. Višnar - 5G mreža je implementirana u 17 zemalja svijeta – do 2022. milijardu korisnika (2020.), Dostupno s: <https://www.racunalo.com/5g-mreza-je-implementirana-u-17-zemalja-svijeta-do-2022-milijardu-korisnika/> (pristup: 28.08.2020.)

³⁰ <https://5g-ppp.eu/newsletter-19/> (pristup: 29.08.2020.)

Iz slike 6.1.1 možemo uočiti da su zemlje s većim BDP-om očekivano uspješnije u uvođenju 5G tehnologije, tako zapadnoeuropske države zauzimaju prvih 17 mjesta po indeksu spremnosti za uvođenje 5G infrastrukture. Prema planovima koje je napravila Europska komisija, do kraja 2020. godine, najmanje jedan grad u svakoj članici bi trebao imati razvijenu 5G mrežu. Očekuje se da će nakon 2022. godine razvitak 5G infrastrukture ubrzano rasti te da će Zapadna Europa do 2023. godine imati više od 150 milijuna korisnika 5G mreže, dok bi Istočna Europa trebala imati oko 30 milijuna pretplatnika, odnosno oko 5 puta manje nego Zapadna Europa.³¹ Zemlja s najrazvijenijim uvjetima za izgradnju 5G infrastrukture je Finska dok je susjedna nam Bosna i Hercegovina najgora po tome pitanju.



Slika 6.1.2 Lokacije aktivnih baznih stanica 5G mreže u Europi

Izvor: <https://www.speedtest.net/ookla-5g-map> (pristup: 29.08.2020.)

³¹ G. Knezović - Hrvatska po spremnosti za 5G na 31. mjestu od 38 zemalja Europe (2019.) Dostupno s: <https://mreza.bug.hr/hrvatska-po-spremnosti-za-5g-na-31-mjestu-od-38-zemalja-europe/> (pristup: 29.08.2020.)

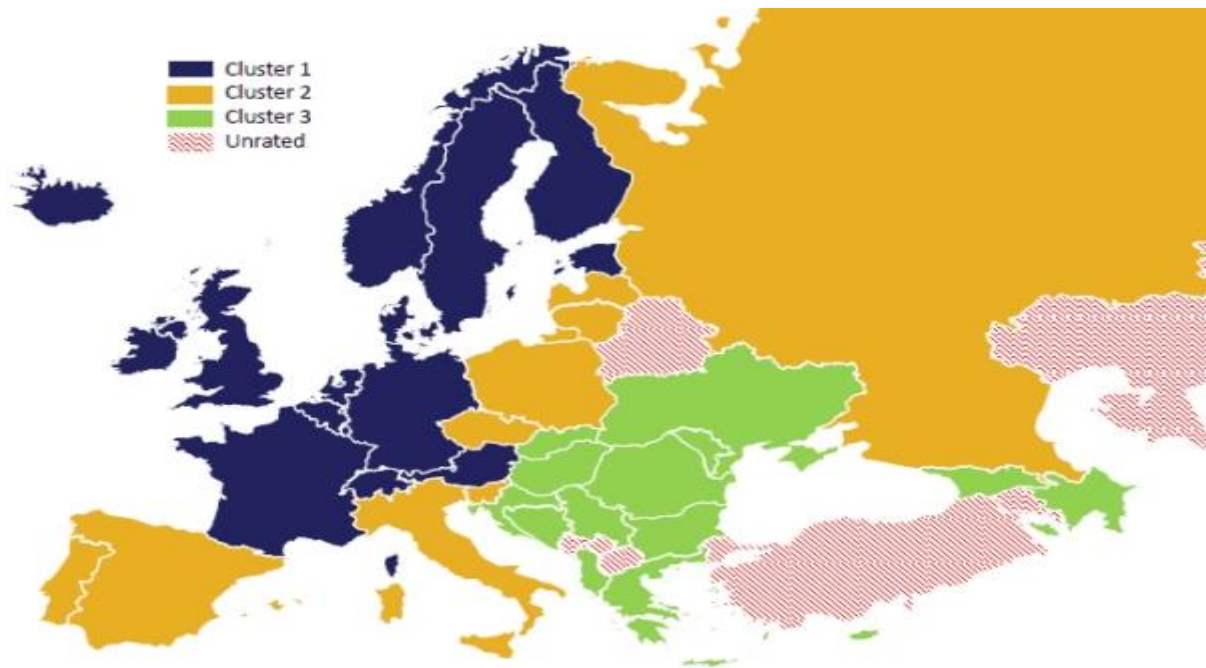
6.2 5G MREŽA U HRVATSKOJ

Hrvatska trenutno nema još nijednu aktivnu 5G mrežu, iz HAKOM³²-a je potvrđeno da su trenutačno dozvoljena samo testiranja 5G tehnologije i to isključivo na frekvencijskom pojasu od 3.6 GHz. Trenutno tri hrvatske telekomunikacijske tvrtke posjeduju privremenu dozvolu za navedeno testiranje, radi se tvrtkama: Hrvatski Telekom, A1 Hrvatska te Tele2 Hrvatska. U Hrvatskoj se testiranja trenutno provode u 13 hrvatskih gradova, riječ je o Zagrebu, Samoboru, Svetoj Nedelji, Osijeku, Rijeci, Splitu, Dubrovniku, Hvaru, Novalji, Jastrebarskom, Rabu, Bjelovaru te otoku Krku. HAKOM je također naglasio da su operateri prije puštanja bilo koje bazne postaje u rad dužni prijaviti tehničke parametre koji će nakon toga biti provjereni kako bi se utvrdilo funkcionira li bazna stanica u skladu s dopuštenim propisima. Potvrđuju da nijedna bazna stanica neće raditi ako ne ispunjava dozvoljene uvjete, te da su svi rezultati mjerenja javno dostupni na internetskim stranicama HAKOM-a. Iz HAKOM-a još ističu da su hrvatske dozvoljene vrijednosti, što se tiče 5G zračenja, rigoroznije od međunarodnih.

Tvrtka pod nazivom „inCITES Consulting S.A.R.L.“ je provela istraživanje u kojem je pomoću 6 kategorija i 35 kriterija nastojala utvrditi koliko su europske zemlje spremne za uvođenje 5G infrastrukture. Rezultati navedenog istraživanja su malo razočaravajući za Hrvatsku, naime Hrvatska se našla na 31. mjestu od ukupno 38. europskih zemalja. Od Hrvatske su lošije samo: Bugarska, Srbija, Albanija, Gruzija, Moldavija, Ukrajina te Bosna i Hercegovina. Što se tiče ocjenjivanje Hrvatska je najbolje rangirana u kriterijima ljudskog potencijala i tehnoloških tvrtki, u navedenim kriterijima je smještena na 26. mjestu. Na 27. mjestu smo po kriterijima vezanim za infrastrukturu, tehnologiju za pripremu 5G mreže te tržištu. Kriteriji koji su Hrvatskoj toliko spustili rang na konačnoj ljestvici su inovativnost gdje zauzima 35. mjesto te pravna odnosno zakonska regulacija pripreme za 5G infrastrukturu na kojoj je Hrvatska zauzela predzadnje, odnosno 37. mjesto.³³

³² Hrvatska agencija za mrežne djelatnosti

³³ G. Knezović - Hrvatska po spremnosti za 5G na 31. mjestu od 38 zemalja Europe (2019.) Dostupno s: <https://mreza.bug.hr/hrvatska-po-spremnosti-za-5g-na-31-mjestu-od-38-zemalja-europe/> (pristup: 31.08.2020.)



6.2.1 Spremnost Europskih država za uvođenje 5G tehnologije

Izvor: <https://mreza.bug.hr/hrvatska-po-spremnosti-za-5g-na-31-mjestu-od-38-zemalja-europe/> (pristup: 31.08.2020.)

Vlada Republike Hrvatske je donijela odluku kojom potvrđuje da će Osijek biti prvi Hrvatski grad sa dostupnom 5G mrežom, rok puštanja 5G infrastrukture u rad je 31. prosinca 2020. godine. Vlada očekuje da će ovim potezom znatno pridonijeti razvoju istočnog dijela Hrvatske koji u sve većoj mjeri zaostaje za ostatkom Hrvatske.

7. RIZICI 5G MREŽE

Kako se počelo spominjati uvođenje nove, pete generacije mobilnih mreža, tako su se u raznim medijima počele pojavljivati informacije o štetnosti 5G mreže, počelo se nagađati kako frekvencija koju proizvode 5G antene uzrokuje razne bolesti, ponajviše tumor na mozgu. Informacije o štetnosti zračenja, koje uzrokuje 5G infrastruktura, posebno su dobile na težini kada je krajem 2017. godine 180 svjetskih znanstvenika potpisalo peticiju čiji je cilj bio odgađanje implementacije 5G sustava. Cilj peticije nije bio potpuno ukidanje 5G sustava nego odgađanje uvođenja istog dok se sa sigurnošću ne utvrdi je li 5G mreža zaista bezopasna za zdravlje ljudi. Bitno je spomenuti da su se ovakve polemike vodile i pri uvođenju prethodnih generacija mobilnih mreža te da do danas nisu utvrđene nikakve štetnosti mobilnih mreža na zdravlje čovjeka. Problem je što bi ovakva istraživanja mogla znatno usporiti proces razvijanja mobilne mreže pete generacije. Svjetska zdravstvena organizacija je na ovaj slučaj odgovorila na način da je uvela mobilne mreže u ljestvicu zračenja, točnije u 2B kategoriju zračenja. 2B kategorija zračenja je moglo bi se reći skoro bezopasna za ljudsko zdravlje, što nam govori činjenica da se u 2B kategoriji u mobilnu mrežu nalaze i list aloe vera, pare pogonskih goriva, odnosno benzina i dizela, ukiseljeno povrće itd. Sva istraživanja koja su do sada provedena nisu dala nikakav dokaz o štetnosti 5G mreže za ljudsko zdravlje.

Istraživači su, kako bi dokazali da štetnost mobilnih mreža na ljude, proveli brojna istraživanja na miševima iz razloga što njihov organizam reagira dosta slično kao ljudski te se i u tim istraživanjima također dokazalo da 5G mreža ni u kojoj mjeri ne šteti ljudskom organizmu. U najnovijim istraživanjima miševi su bili izloženi 9 sati dnevno četiri puta većem zračenju od dopuštenog te su rezultati minimalno, moglo bi se reći zanemarivo povećanje tumora na mozgu, istraživači su na posljetku potvrdili da su miševi koji su bili pod utjecajem zračenja živjeli duže od onih koji nisu imali nikakav utjecaj zračenja.³⁴ Naravno, testiranja koja su se izvodila na miševima moramo uvijek uzimati s rezervom, jer organizam čovjeka i miša nije u potpunosti isti.

Jedno od najpoznatijih istraživanja što se tiče štetnosti mobilnih mreža provedeno je u Danskoj, istraživači su analizirali 420 tisuća ljudi koji su koristili mobilne telefone u razdoblju od 1982. do 1995. godine. Istraživanje je potvrdilo da se tumor kod

³⁴ M. Sinadović - Da li je 5G mreža opasna po vaše zdravlje? (2020.) Dostupno s: <https://mediareform.rs/da-li-je-5g-mreza-opasna-po-vase-zdravlje/> (pristup: 31.08.2020.)

navedenih osoba nije povećao već se u protivnom smanjio. Naravno stručnjaci s tim ne tvrde da korištenje mobitela pomaže u liječenju raka već da su takve bolesti neovisne o mobilnim mrežama. I sama međunarodna agencija za izazivanje raka je 2011. godine sprovedla istraživanje čiji je cilj bio utvrditi utjecaj mobilnih mreža na zdravlje čovjeka. Navedeno istraživanje je, baš kao i ostala istraživanja, pokazalo da mobilne mreže nemaju nikakav utjecaj na pojavu tumora. Na osnovu navedenih ali i svih ostalih istraživanja možemo zaključiti da mobilne mreže nemaju nikakve veze sa pojavom tumora na mozgu. Još jedan zanimljiv podatak nam dolazi iz Amerike gdje je uvidom u statistiku oboljelih utvrđeno da je od 1980, odnosno od pojave prve generacije mobilnih mreža, broj pacijenata koji boluju od tumora na mozgu u znatnom padu, što nam govori da je sve manje pacijenata s tom vrstom bolesti te se taj podatak u potpunosti kosi sa optužbama protiv mobilnih mreža.³⁵ Sama 5G mreža zahtijeva više baznih stanica čime će se i zračenje u nekoj mjeri povećati, smatra se da tako malo povećanje neće imati nikakav veći utjecaj na količinu zračenja stoga se definitivno ne moramo bojati 5G infrastrukture.

| Frekvencije koje koriste mobilne mreže | | | | | | |
|----------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Mreža | 2G | 3G | 4G | 5G na otvorenom prostoru | 5G na naseljenom prostoru | 5G na gusto naseljenom području |
| Frekvencija | 900 Mhz do 1,8 Ghz | 900 Mhz do 2,1 Ghz | 800 Mhz do 2,6 Ghz | 700 Mhz do 1 Ghz | 1 Ghz do 3,6 Ghz | Iznad 26 Ghz |
| Domet i brzina | Veliki domet | Veliki domet | Veliki domet | Veliki domet | Kratak domet Gušće stanice manje snage | Vrlo kratak domet Vrlo guste stanice Vrlo male snage |
| Prodor u tijelo | Prodire kroz kožu i zagrijava tijelo | Prodire kroz kožu i zagrijava tijelo | Prodire kroz kožu, zagrijava tijelo | Prodire kroz kožu, zagrijava tijelo | Prodire plitko u kožu | Ne prolazi kroz kruta tijela |
| Brzina prijenosa podataka | Do 240 kbit/s | Do 42.2 Mbit/s | Do 350 Mbit/s | 200 Mbp/s do 600 Mbp/s | Oko 1 Gbp/s | Do 10 Gbp/s |

Slika 7.1 Frekvencije koje koriste mobilne mreže

Izvor: <https://novenews.net/hr/znanost/koliko-je-opasna-5g-mreza-889> (pristup: 31.08.2020.)

³⁵ M. Sinadović - Da li je 5G mreža opasna po vaše zdravlje? (2020.) Dostupno s: <https://mediareform.rs/da-li-je-5g-mreza-opasna-po-vase-zdravlje/> (pristup: 31.08.2020.)

8. ZAKLJUČAK

Od prve pa do četvrte generacije mobilnih mreža uvijek se težilo za postizanjem veće brzine prijenosa podataka te za manjom latencijom, odnosno kašnjenjem. Peta generacija mobilnih mreža nam donosi nešto sasvim novo, nešto neviđeno i dugo očekivano. Peta generacija mobilnih sustava neće omogućiti samo bolju komunikaciju i veće zadovoljstvo korisnika nego će uz to unaprijediti kvalitetu života na zemlji kao i cjelokupno svjetsko gospodarstvo. Čovjek je u današnje vrijeme previše okupiran poslom i obavezama, samim time ne stigne naći vremena za bitne stvari u životu, 5G tehnologija će pospješiti stvaranje aplikacija koje štede naše vrijeme ali i novac, time ćemo imati više vremena za stvari koje nas zaista uveseljavaju. Pri stvaranju 5G tehnologije stručnjaci se nisu brinuli samo o zadovoljstvu korisnika, kao što je bio slučaj s ranijim generacijama, nego im je bilo bitno i očuvanje zemlje. 5G mreža je razvijena s ciljem stvaranja pametnih uređaja koji će štedjeti električnu energiju koliko god je to moguće, te će nastojati što više iskoristavati obnovljive izvore energije. Naravno, kao i svaka druga tehnologija tako i kod 5G tehnologije nije sve tako idealno, ona sa sobom donosi i svoje nedostatke. Glavni od tih nedostatak su zapravo već objašnjeno zračenje koje proizvode 5G antene, oko istih prema istraživanjima ne bi trebalo biti problema, stručnjaci smatraju da je to normalno jer se narod uvijek boji nove tehnologije što nam potvrđuje i činjenica da su ljudi bojkotirali uvođenje električne energije razbijanjem javne rasvjete a znamo da bi bez iste život danas bio nezamisliv. Nažalost, prema prikazanim podacima Hrvatska nije postavila dobre temelje za razvoj 5G mreže, ne preostaje nam ništa drugo nego da budemo optimistični i da se nadamo da će se situacija popraviti u narednim godinama te da bar u tom polju nećemo previše zaostajati za ostatkom svijeta. Sada nam već mora biti jasno da je 5G mreža neizostavni korak ka budućnosti, samo je pitanje vremena kada će biti dostupna i u našem okruženju. Iako postoji još dosta nedoumica oko 5G sustava smatramo da će godine pred nama donijeti i odgovore na iste. Mrežu 5G svakako ne smijemo smatrati našim neprijateljem jer je njen cilj od samog početka bio poboljšanje kvalitete i jednostavnosti života čovjeka. Svakako ne treba zaboraviti da svaki čovjek sam kroji svoju sudbinu, te da mi sami zapravo reguliramo količinu zračenja koje naše tijelo prima, s tim bih preporučio da se manje vodi briga o 5G mreži i njenoj štetnosti a da se više obrati pozornost na blizinu i prekomjerno korištenje mobilnih uređaja, koji uveliko više zrače od mobilnih mreža.

9. LITERATURA

1. H. Liović - RAZVOJ TELEKOMUNIKACIJSKIH MOBILNIH SUSTAVA, 2019.
2. H. Mehta, D. Patel, B. Joshi, H. Modi - 0G to 5G Mobile Technology: A Survey (2014.) Dostupno s:
https://www.researchgate.net/publication/308540263_0G_to_5G_Mobile_Technology_A_Survey (pristup: 21.08.2020.)
3. Item Media - Mobile Generations Explained (2015.) dostupno s:
<https://interferencetechnology.com/mobile-generations-explained/> (pristup: 21.08.2020.)
4. B. Burazer: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, Hrvatski zavod za norme, 2014.
5. A., Kumar, Y., Liu, J. Sengupta: Evolution of Mobile Wireless Communication (2010.) Dostupno s:
<https://pdfs.semanticscholar.org/5660/81acfd4c0c6a99b72ef9e06279e1745e0ae.pdf> (pristup: 23.08.2020.)
6. T., Blajić: LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup, Dostupno s:
<https://dokumen.tips/documents/lte-nova-tehnologija-za-mobilni-sirokopojasni-pristup-pdf.html> (pristup: 23.08.2020.)
7. <https://www.juniperresearch.com/press/press-releases/5g-revenues-forecast-to-exceed-65bn-usd-by-2025> (pristup: 24.08.2020.)
8. What is Massive MIMO? (2018.), Dostupno s:
<https://www.cbronline.com/answer/what-is-massive-mimo> (pristup 24.08.2020.)
9. Quoc Ngo H: Massive MIMO: Fundamentals and System Designs, Linköping, 2015. Dostupno s: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:772015/FULLTEXT01.pdf> (pristup: 24.08.2020.)
10. Rodriguez, J: Fundamentals of 5G mobile networks, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK, 2015.
11. Prasad, R: 5G:2020 and beyond, River Publishers, Aalborg, 2014. Dostupno s:
https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_E9788793237131.pdf (pristup: 24.08.2020.)

12. Stamenković S: Heterogene mobilne mreže. Dostupno s:
<http://telekomsvet.blogspot.hr/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html>
(pristup: 25.08.2020.)
13. <https://www.ericsson.hr/m2m-rjesenja> (pristup: 25.08.2020.)
14. <http://www.infotrend.hr/clanak/2014/10/m2m-izazovi,81,1092.html> (pristup:
25.08.2020.)
15. W. Mohr, M. Campolargo - The 5G Infrastructure Public Private Partnership
(5G PPP): First Wave of Research & Innovation Projects (2016.), Dostupno s:
<http://superfluidity.eu/wp-content/uploads/5GPPP-brochure-draft02.pdf>
(pristup: 25.08.2020.)
16. K. Lasse Lueth - IoT 2019 in Review (2020.), Dostupno s: [https://iot-
analytics.com/iot-2019-in-review/](https://iot-analytics.com/iot-2019-in-review/) (pristup: 27.08.2020.)
17. mr. sc. I. Livaja, mag.ing.comp. Z. Klarin - UTJECAJ 5G MREŽE NA
INTERNET STVARI (2020.), Dostupno s: <https://hrcak.srce.hr/241620> (pristup:
27.08.2020.)
18. KAKO SE U 50 GODINA PROMIJENIO NAŠ DOM, Dostupno s:
<http://tnative.tportal.hr/pametne-kuce-u-hrvatskoj/> (pristup: 27.08.2020.)
19. D. Tomić - 5G u medicini: Udaljene operacije preko Huawei mreže (2020.)
Dostupno s: [https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/5g-u-medicini-
udaljene-operacije-preko-huawei-mreze](https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/5g-u-medicini-udaljene-operacije-preko-huawei-mreze) (pristup: 27.08.2020.)
20. G. Knezović - Istočna Azija globalni lider 5G mreža (2020.) Dostupno s:
[https://mreza.bug.hr/telekom-operatori-u-kini-juznoj-koreji-i-japanu-predvode-
u-uvodenju-5g-mreza-u-svijetu/](https://mreza.bug.hr/telekom-operatori-u-kini-juznoj-koreji-i-japanu-predvode-u-uvodenju-5g-mreza-u-svijetu/) (pristup: 28.08.2020.)
21. L. Whitney - 5G expands to 378 cities across 34 countries (2020.), Dostupno
s: [https://www.techrepublic.com/article/5g-expands-to-378-cities-across-34-
countries/](https://www.techrepublic.com/article/5g-expands-to-378-cities-across-34-countries/) (pristup: 28.08.2020.)
22. K. Višnar - 5G mreža je implementirana u 17 zemalja svijeta – do 2022.
milijardu korisnika (2020.), Dostupno s: [https://www.racunalo.com/5g-mreza-
je-implementirana-u-17-zemalja-svijeta-do-2022-milijardu-korisnika/](https://www.racunalo.com/5g-mreza-je-implementirana-u-17-zemalja-svijeta-do-2022-milijardu-korisnika/) (pristup:
28.08.2020.)
23. <https://5g-ppp.eu/newsletter-19/> (pristup: 29.08.2020.)
24. G. Knezović - Hrvatska po spremnosti za 5G na 31. mjestu od 38 zemalja
Europe (2019.) Dostupno s: [https://mreza.bug.hr/hrvatska-po-spremnosti-za-
5g-na-31-mjestu-od-38-zemalja-europe/](https://mreza.bug.hr/hrvatska-po-spremnosti-za-5g-na-31-mjestu-od-38-zemalja-europe/) (pristup: 29.08.2020.)

25. M. Sinadović - Da li je 5G mreža opasna po vaše zdravlje? (2020.) Dostupno s: <https://mediareform.rs/da-li-je-5g-mreza-opasna-po-vase-zdravlje/> (pristup: 31.08.2020.)