

Uvođenje 5G mreža s osvrtom na pravni okvir

Tahiri, Dario

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:208876>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-26**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dario Tahiri

UVOĐENJE 5G MREŽE S OSVRTOM NA PRAVNI OKVIR

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 2. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Telekomunikacijska legislativa i standardizacija**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5924

Pristupnik: **Dario Tahiri (0135231868)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

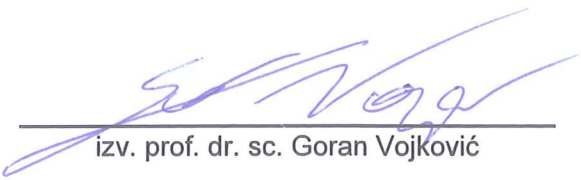
Zadatak: **Uvođenje 5G mreža s osvrtom na pravni okvir**

Opis zadatka:

ITU (International Telecommunication Union) je pokrenuo projekt IMT-2020 (International Mobile Telecommunications) kojim su započela istraživanja usmjerena na novu 5G mrežu. Uvođenje nove mreže osim tehnoloških prati i potreba za odgovarajućom pravnom regulacijom. Potrebno je istražiti i navesti tehnološke, pravne i druge specifičnosti uvođenja nove mreže, uključivo i specifičnosti zbog demografskih, zemljopisnih i drugih karakteristika Republike Hrvatske.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



izv. prof. dr. sc. Goran Vojković

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

UVOĐENJE 5G MREŽE S OSVRTOM NA PRAVNI OKVIR

**INTRODUCTION OF 5G NETWORKS WITH A FOCUS ON THE LEGAL
FRAMEWORK**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Goran Vojković

Student: Dario Tahiri

JMBAG: 0135231868

Zagreb, rujan 2020.

SAŽETAK

Razvojem pametnih telefoni, razvijaju se i mobilne mreže i svaka generacija novih mreža ima sve bolje karakteristike. Svaka nova generacija ima svoje prednosti i nedostatke, ali svaka na svoj način predstavlja veliko napredovanje u tehnologiji i omogućuje brži pristup internetu s većim brojem istovremeno spojenih korisnika. Kako se 5G još uvijek testira širom svijeta, nije u potpunosti implementirana njena infrastruktura.

Pred 5G su postavljeni veliki zahtjevi, pa su iz tog razloga i očekivanja velika. Da bi se mogli ispuniti zahtjevi koji su stavljeni pred 5G bitno je unaprijeđenje arhitekture u raznim područjima, kao što su razvoj ćelija visoke gustoće, dodjeljivanje novog prostora frekvencijskog spektra i komunikaciju između strojeva. Peta generacija mreže pred sobom ima niz sigurnosnih i tehnoloških izazova koje treba riješiti.

Samim time, 5G mreža se neće pustiti u opticaj, ako regulatorna tijela zadužena za nadzor iste ne daju dozvolu. Implementacija 5G mreže u svijetu i Hrvatskoj je u punom jeku, te je u mnogim državama svijeta već započela njezina komercijalna uporaba.

KLJUČNE RIJEČI: 5G, arhitektura, pravna regulativa, implementacija 5G mreže, usluge u 5G

SUMMARY

As smartphones evolve, so do mobile networks, and each generation of new networks has better features. Each new generation has its advantages and disadvantages, but each in its own way represents a major advance in technology and allows faster Internet access with a larger number of simultaneously connected users.

Given that 5G is still being tested worldwide, its infrastructure has not been fully implemented. There are requirements for 5G, and there are high expectations. In order to meet the demands placed on 5G, it is essential to improve the architecture in various areas, such as the development of high-density cells, the allocation of new frequency spectrum space, and communication between machines. The fifth generation of mobile network has a number of security and technological challenges that need to be addressed.

Therefore, the 5G network will not be put into circulation if the regulatory bodies in charge of its supervision do not issue a permit. The implementation of the 5G network in the world and in Croatia is in full swing, and its commercial use has already begun in many countries around the world.

KEYWORDS: 5G, architecture, legal regulations, implementation of 5G network, services in 5G

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ POKRETNIH MREŽA OD 1G DO 4G	4
2.1 Prva generacija pokretnih mreža – 1G	4
2.2 Druga generacija pokretnih mreža – 2G	5
2.3 Treća generacija pokretnih mreža – 3G	7
2.4 Četvrta generacija pokretne mreže – 4G	9
3. KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOSTI 5G MREŽE	11
3.1 Arhitektura 5G mreže	12
3.1.1 5G Novi Radio	13
3.1.2 Masivni MIMO	15
3.1.3 Milimetarski valovi (eng. <i>Mm Wave</i>)	17
3.1.4 NextGen Core Network	19
3.2 Karakteristike 5G mreže	21
3.2.1 Heterogena mreža	23
3.2.2 Male ćelije	24
3.2.3 Dijeljenje frekvencijskog spektra	26
3.3 Mogućnosti i usluge u 5G mreži	27
3.4 Internet stvari	31
4. SIGURNOSNI I TEHNOLOŠKI IZAZOVI 5G MREŽE	36
4.1 Sigurnosni mehanizmi za sigurnost 5G mreže	37
4.1.1 Povjerljivost	38
4.1.2 Dostupnost	39
4.1.3 Integritet	40
4.2 Procjena rizika za uvođenje 5G mreže	40
4.3 Tehnološki izazovi kod uvođenja 5G mreže	42
4.4 Utjecaj 5G mreže na zdravlje	45
5. PRAVNA REGULATIVA 5G MREŽE U EU I HRVATSKOJ	48

5.1	Standardizacija novih tehnologija.....	50
5.2	Standardizacija 5G mreže	53
5.3	5G - Akcijski plan za Europu	55
5.4	ENISA	58
6.	IMPLEMENTACIJA 5G MREŽE U SVIJETU I HRVATSKOJ	60
6.1	5G u svijetu i EU	60
6.2	Potreba za 5G mrežom u ruralnim područjima	64
6.3	5G mreža u Hrvatskoj.....	66
7.	ZAKLJUČAK	72
	LITERATURA.....	74
	POPIS SLIKA	81
	POPIS TABLICA.....	82
	POPIS KRATICA	83

1. UVOD

Brojni istraživači danas pokušavaju razviti tehnologije sljedeće generacije za 5G bežičnu mobilnu mrežu. Neke ključne tehnologije osiguravaju značajna poboljšanja za 5G sustave u pogledu golemog kapaciteta, veće brzine podataka, nadzemnih signala na mreži i energetske spektralne učinkovitosti. No, te tehnologije također sa sobom donose kritična pitanja za 5G sustave, a neka od njih su oskudni radiofrekvencijski spektar, razmještanje antena u stanicama, upravljanja mrežom i prometom, troškovi i radno opterećenje. U nastavku rada biti će nešto više riječi o prethodno navedenom. Broj korisnika bežične mreže se povećava iz dana u dan zbog korištenja web-a, IoT (eng. *Internet of Things*) Internet stvari, D2D (eng. *Device to Device*) uređaj do uređaja i M2M (eng. *Machine to Machine*) stroj do stroja, aplikacija i usluga temeljenih na oblaku. Korisnici uvijek teže k tome da imaju veće brzine prijenosa podataka kod uzlaznih veza, poboljšanu kvalitetu usluge, bolji prijenos videa i slično. Kao rezultat toga, ovi zahtjevi uzrokuju iznimno velik promet podataka na mobilnim mrežama, te kako bi se postigle težnje korisnika potreban je novi mobilni sustav. Istraživači i programeri predviđaju da 5G može biti prikladan kandidat za to.

5G mreža će biti jedinstvena mreža koja će nuditi potpuno nove mogućnosti. Jako je bitan kontinuiran i dugoročni razvoj mreže jer bez toga nije moguće ponuditi dovoljno široki raspon usluga. Sukladno tome primjetan je i stalni razvoj aplikacija koje se koriste svakodnevno, no ipak jedna od većih promjena je što se poboljšala kvaliteta online videozapisa. Usluge u oblaku se vrlo brzo razvijaju i mnoge usluge se mogu korisnicima pružiti preko oblaka s ciljem smanjenja troškova i omogućavanjem bolje i jednostavnije povezanosti između poslužiteljskih platformi. Kod 5G su jako velika očekivanja, te se spominju različiti slučajevi uporabe koji uključuju sve industrijske grane. Tu se spominju pametna proizvodnja, povezani automobili, pametna mjerenja, praćenje logistike na globalnoj razini, pametna agrokultura i druga područja na koja se IoT treba fokusirati.

Tema ovog diplomskog rada je Uvođenje 5G mreže s osvrtom na pravni okvir, a čini ga 7 sljedećih cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj pokretnih mreža od 1G do 4G
3. Karakteristike i mogućnosti 5G mreže
4. Sigurnosni i tehnološki izazovi 5G mreže
5. Pravna regulativa 5G mreže u EU i Hrvatskoj
6. Implementacija 5G mreže u svijetu i Hrvatskoj
7. Zaključak

Drugim poglavljem daje se uvid u razvoj pokretnih mreža, krenuvši od 1G pa sve do 4G mreže. Navedeni su i standardi za svaku generaciju, te uloga ITU-a i drugih tijela koja donose standarde.

U trećem poglavlju će biti prikazana arhitektura 5G mreže i biti će opisane njene trenutne funkcionalnosti. Isto tako će biti navedene i objašnjenje karakteristike 5G mreže kao što su hetero mreže, male ćelije, gustoća mreže i dijeljenje frekvencija. Navest će se i neke od usluga koje će biti omogućene 5G mrežom.

Četvrto poglavlje prikazuje sigurnosne i tehnološke izazove 5G mreže te njene mehanizme. Objašnjeni su sigurnosni mehanizmi i njihova uloga u 5G mreži. Navedena je i procjena rizika na nacionalnoj i EU razini. Nadalje, biti će riječi i o tehnološkim preprekama kao što su izdavanje dozvole za frekvencijski pojas i problematika izgradnje mreže, te utjecaj zračenja 5G mreže na zdravlje.

Peto poglavlje obuhvatit će pravnu regulativu 5G mreže u EU i u Republici Hrvatskoj. Biti će navedeni EU dokumenti koji reguliraju 5G mrežu. Također će biti navedena regulatorna tijela za Republiku Hrvatsku i za EU, koja se bave pravnom regulativom 5G mreže.

Šesto poglavlje obuhvaća implementaciju 5G mreže u svijetu i Republici Hrvatskoj, njezin početak komercijalne uporabe, gdje i na koji način se u samim počecima počela koristiti. Nadalje biti će prikazana pokrivenost 5G u svijetu i potreba za 5G u ruralnim područjima, te hoće li ona uopće biti uvedena u ruralnim područjima.

2. RAZVOJ POKRETNIH MREŽA OD 1G DO 4G

Ovim poglavljem biti će predstavljen pregled mobilnih generacija, uzevši u obzir tijek razvoja, što je prethodilo njihovom razvoju, koje su se tehnologije koristile, itd. Svaka generacija pokretnih mreža je donijela nešto novo, kao što su npr. veće brzine, frekvencije te protok podataka o čemu će više riječi biti u slijedećim poglavljima.

2.1 Prva generacija pokretnih mreža – 1G

Prva generacija pokretnih mreža je puštena u promet od strane NTT DoCoMo operatera 1979. godine. 1G se zasnivala na analognoj tehnologiji i tržištu je predstavljena 80-tih godina prošlog stoljeća. Prvi pokretni sustavi su riješili prvu skupinu temeljnih tehničkih problema koji su bili vezani uz primjenu ćelijske radijske strukture, višestrukog pristupa mediju, pokretljivosti korisnika između različitih mrežnih domena i mogućnost održavanja stabilne komunikacijske veze u složenim radijskim uvjetima. Ova generacija nije ostvarila veliki tržišni uspjeh zato što nije ispunila osnovni zahtjev koji bi svaki pokretni sustav trebao ispuniti, a to je komunikacija „bilo kada i bilo gdje“ po prihvatljivoj cijeni. S obzirom na to da je postojao veliki broj različitih standarda, bitno je ograničena pokretljivost korisnika preko državnih granica. Samim time i pretplatnici 1G mreže uglavnom nisu mogli koristiti svoje telefone u susjednim ili nekim drugim državama [1].

Prva generacija je koristila standarde koji su vezani za pojedine države. U Danskoj, Finskoj, Islandu, Švedskoj, Norveškoj, Švicarskoj, Rusiji, Nizozemskoj i dijelovima Istočne Europe je korišten NMT (eng. *Nordic Mobile Telephone*). U Sjevernoj Americi i Rusiji je korišten AMPS (eng. *Advanced Mobile Phone System*). Ujedinjeno Kraljevstvo je koristilo TACS (eng. *Total Access Communication System*), dok su Zapadna Njemačka, Portugal i Južna Afrika koristili mrežu nazvanu C-450. Ipak, NTM sustavi su bili od najvećeg značaja pošto su bili zastupljeni u Europi, te isto tako i AMPS koji je bio zastupljen u Sjedinjenim Američkim Državama [2].

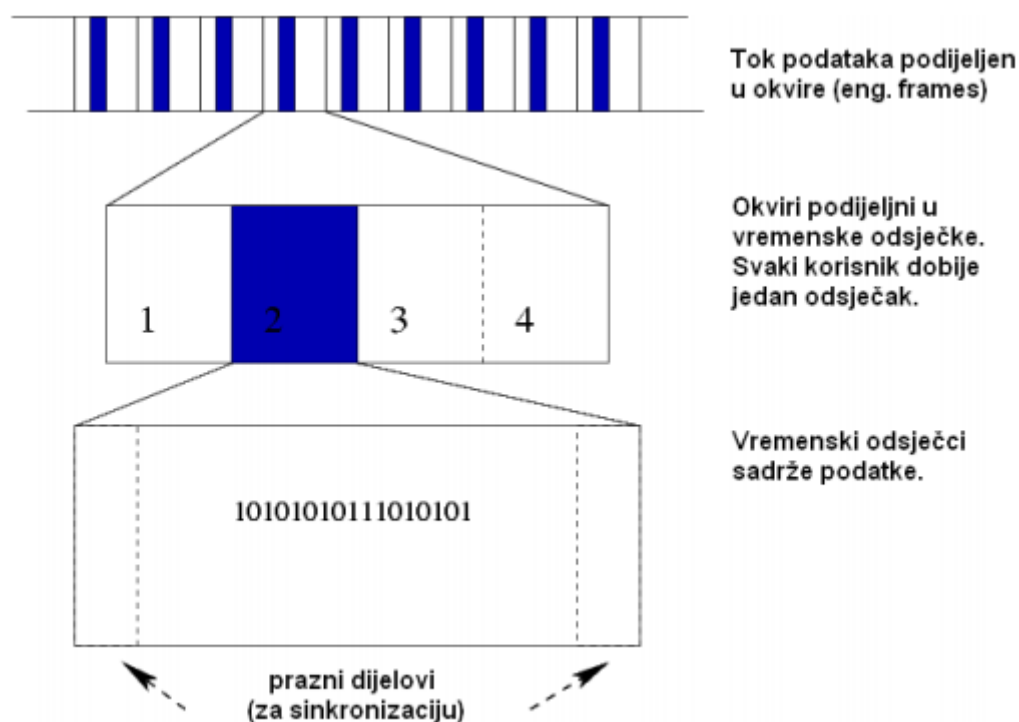
Pokretna mreža prve generacije je koristila FDMA (eng. *Frequency Division Multiple Acces*) prijenos signala, koji je funkcionirao tako da su dva uređaja komunicirala međusobno, a pri tome su koristili samo jedan kanal bez obzira na to da li je postojao neki signal ili ne, te se svakom kanalu dodjeljivala posebna frekvencija. Dakle, ako se htio ostvariti poziv s jednog uređaja na drugi, trebalo je ostvariti vezu sa mrežom bazne stanice gdje se glas modulirao na više frekvencije [3].

2.2 Druga generacija pokretnih mreža – 2G

Druga generacija sustava mobilnih telefona se pojavila 90-tih godina 20. stoljeća, te je koristila GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*) standard. Telefonski sustavi druge generacije su za razliku od prve generacije koristili digitalni prijenos podataka umjesto analognog i uveli su napredno i brzo *telefon-prema-mreži* signaliziranje. Godine 1991. je osnovana prva GSM mreža u Finskoj, pod nazivom *Radiolinija*. Frekvencije sustava druge generacije u Europi suviše nego one u Americi. Npr., frekvenciju od 900 MHz su u Europi koristile sustavi prve i druge generacije. Uvođenjem sustava druge generacije mobilni uređaji su postali znatno manji i lakši, te je samim time omogućen napredak u tehnologiji, naprednije baterije, učinkovitija elektronika te uvođenje više ćelija i odašiljača. Druga generacija pokretnih mreža koristi CDMA (eng. *Code Division Multiple Acces*) i TDMA (eng. *Time Division Multiple Access*) metode pristupa komunikacijskim kanalima [4].

CDMA je metoda pristupa kanalima koju koriste različite tehnologije za komunikaciju preko radio signala. Jedan od temeljnih koncepata u prijenosu podataka je upotreba nekoliko odašiljača za slanje podataka. Odašiljači funkcioniraju na način da šalju podatke istovremeno preko jednog komunikacijskog kanala. To znači da nekoliko korisnika dijeli isti pojas frekvencija. CDMA koristi široki spektar frekvencija i posebnu shemu kodiranja u kojoj se svakom odašiljaču dodjeljuje određena oznaka kako bi više korisnika moglo komunicirati koristeći isti fizički kanal. Upotrebom CDMA tehnike više mobilnih uređaja može koristiti iste frekvencije i svi mogu biti konstantno aktivni jer kapacitet mreže ne ograničava broj aktivnih uređaja.

TDMA metoda (slika 1.) pristupa koristi vremensku podjelu, te omogućuje da nekoliko korisnika koristi isti frekvencijski kanal podjelom u vremenske odsječke. TDMA tehnika je tipična za sustave druge generacije, te ju GSM sustavi koriste [4].



Slika 1: TDMA metoda, [4]

U drugoj generaciji je također uvedena i nova vrsta komunikacije, a to je slanje SMS (eng. *Short Message Service*) poruka. Na početku je bilo moguće slati poruke samo preko GSM mreže, a kasnije i preko svih ostalih digitalnih mreža. No, SMS nije jedina mogućnost koja je u drugoj generaciji uvedena, već je tu i mogućnost pristupa multimedijalnom sadržaju na mobilnim telefonima. Finska je prva država koja je uvela prijenos pozivnog tona na mobilni uređaj kao sadržaj koji se plaća, te u kojoj se najprije pojavilo oglašavanje na mobilnim telefonima, u trenutku kada je pokrenuta besplatna usluga slanja dnevnih vijesti u obliku SMS poruka. Prve usluge prijenosa podataka su počele slanjem SMS poruka, a prva Internet usluga je uvedena u Japanu 1999. godine [4].

2.3 Treća generacija pokretnih mreža – 3G

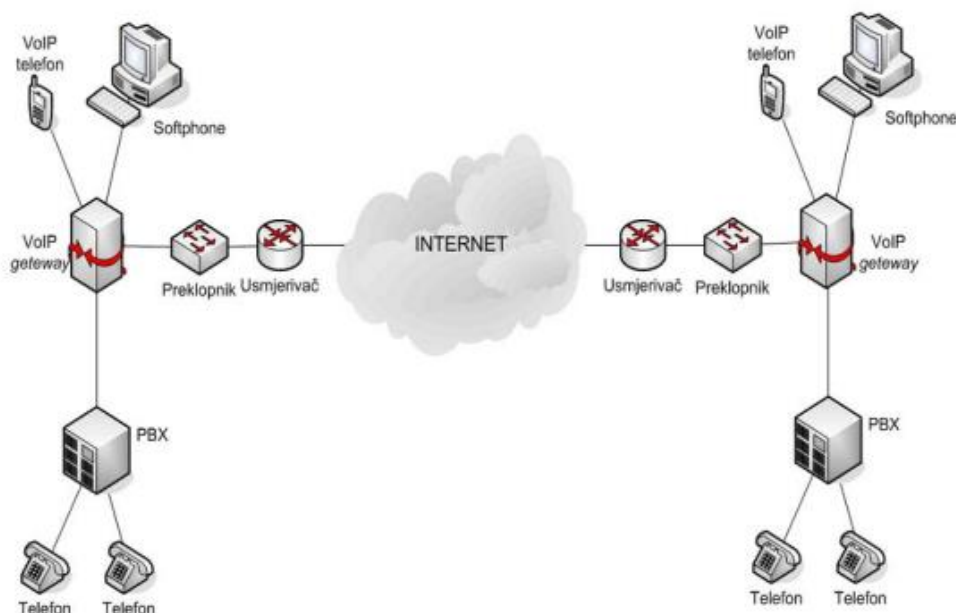
S obzirom na to da je upotreba telefona druge generacije postala sve popularnija i ljudi su počeli koristiti mobilne telefone u svakodnevnom životu, postalo je jasno da će potražnja za uslugama prijenosa podataka biti sve veća. Isto tako se pojavila potreba za sve većim brzinama prijenosa podataka, a tehnologije druge generacije to nisu mogle pružiti u dovoljnoj mjeri te je samim time započeo i razvoj treće generacije. Jedna od glavnih tehnoloških razlika kojom se tehnologija treće generacije ističe je upotreba preusmjeravanja paketa za prijenos podataka. Sustavi treće generacije koriste inačice CDMA standarda koje su naravno nadograđene kako bi podržavale 3G tehnologije [4].

Prva nekomercijalna 3G mreža je pokrenuta od strane NTT DoCoMo tvrtke u Japanu 2001. godine. Tijekom razvoja 3G sustava, sustavi kao 2.5G i GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) su razvijeni kao produžeci postojećih 2G mreža. To su sustavi koji zapravo pružaju iste usluge kao i 3G bez brzog prijenosa i potpune multimedijalne usluge. EDGE (eng. *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) je tehnologija za prijenos podataka preko GSM mobilne mreže, a pojavljuje se kao poboljšanje GPRS tehnologije. EDGE pruža i do tri puta veći kapacitet prijenosa podataka u odnosu na GPRS tehnologiju, te koristi TDMA metodu pristupa kanalu čime se direktno nadograđuje na GSM mrežu. Sustavi treće generacije kombiniraju CDMA i TDMA standarde kako bi bili kompatibilni sa sustavima druge generacije.

3G tehnologija pruža velike brzine spajanja koje omogućuju prijenos toka podataka, tj. multimedijalnog sadržaja na mobilne uređaje. Evolucija 3G tehnologija je počela poslije 2000. godine kada se pojavio HSDPA (eng. *High-Speed Downlink Packet Access*) protokol koji potiče iz HSPA (eng. *High-Speed Packet Access*) obitelji, a dolazi kao poboljšani protokol za komunikaciju. Mreže koje su temeljene na UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunications System*) sustavu koriste HSDPA protokol, a on se još naziva i 3.5G, 3G+ ili turbo 3G. UMTS pruža veće brzine prijenosa i veći kapacitet za prijenos podataka, dok trenutni HSDPA protokoli

podržavaju prijenos brzinama 1.8 Mbit/s, 3.6 Mbit/s, 7.2Mbit/s i 14 Mbit/s. HSPA+ omogućuje veće brzine, čak do 42 Mbit/s i 84 Mbit/s.

Standardi za komunikaciju mobilnih tehnologija treće generacije su omogućili ostvarenje VoIP (eng. *Voice over Internet Protocol*) tehnologije. To je proces digitaliziranja i slanja glasovnih podataka preko Interneta i drugih podatkovnih mreža. Organizacije više ne moraju koristiti samo tradicionalnu telefonsku mrežu već mogu koristiti VoIP (slika 2.) tehnologiju koja smanjuje troškove telefoniranja i omogućava fleksibilnost rada [4].



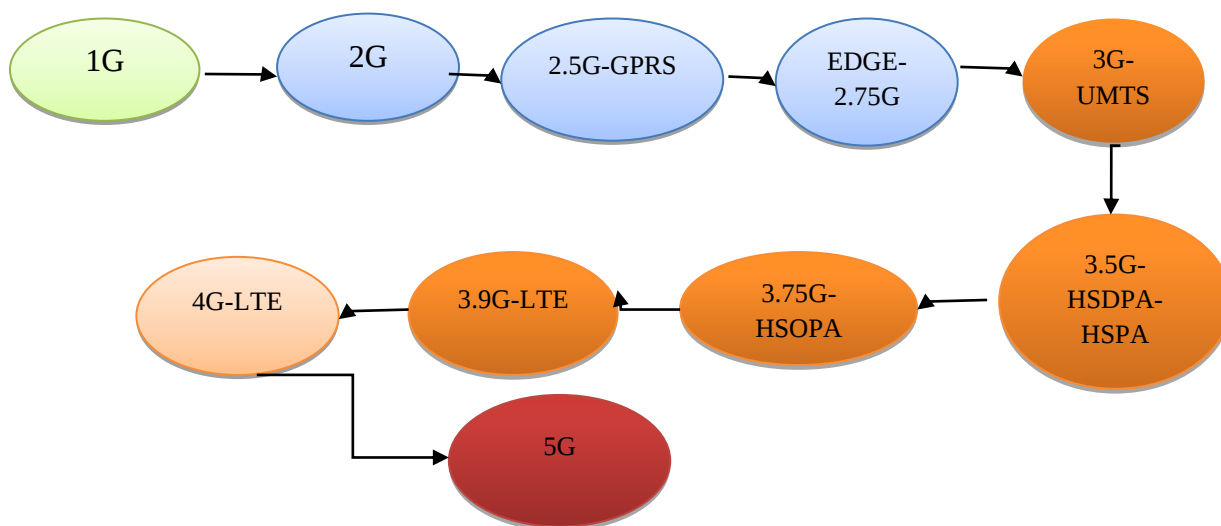
Slika 2: VoIP arhitektura, [4]

IP (eng. *Internet Protocol*) telefonija je proces prijenosa glasa, tj. govora preko paketno preklapanih IP mreža nasuprot prijenosu koji je zasnovan na telefonskim mrežama. VoIP protokolom se još naziva i digitaliziranje zvuka u mrežne pakete te njihov prijenos preko Interneta i drugih podatkovnih mreža. VoIP također omogućava obavljanje telefonskog razgovora korištenjem postojećih mrežnih konekcija i predstavlja zamjenu za standardnu telefoniju, kako u lokalnom i međugradskom prometu, tako i u međunarodnom. Jedna od velikih prednosti VoIP tehnologije je

moгуćnost pozivanja mobilnih i fiksnih pretplatnika te ostvarivanje međunarodnih poziva po izuzetno niskim, tj. povoljnim cijenama.

2.4 Četvrta generacija pokretne mreže – 4G

Unatoč tome što su mobilni telefoni imali pristup podatkovnim mrežama, tj. Internetu, pristupanje Internetu putem mobitela nije postala navika sve dok se nisu pojavile mreže treće generacije i uređaji koji su bili specijalizirani za pristup mobilnom Internetu. Pojavom raznih uređaja sa raznolikim mogućnostima potaknut je razvoj četvrte generacije mobilne tehnologije. Do 2009. godine je postalo evidentno da će mreže treće generacije postati preopterećene brojem korisnika i upotrebom aplikacija kojima je potreban širokopojasni kanal za prijenos podataka. Kao posljedica toga, počeo je razvoj tehnologija koje su optimizirane za prijenos podataka i koje trebaju omogućiti prijenos podataka velikim brzinama, čak oko deset puta brže nego što je to slučaj u mrežama treće generacije. Prve dvije komercijalne tehnologije bili su standard WiMAX (eng. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) i LTE (eng. *Long Term Evolution*) standard. Razlika između 3G i 4G tehnologije je uklanjanje uspostave kruga (ili kanala) između čvorova i terminala prije uspostave komunikacije među korisnicima, te se samim time koristi IP mreža [4].



Slika 3: Prikaz razvoja pokretnih mreža

Danas se zapravo 4G i LTE smatraju istim pojmom, pa se tako nekada za 4G mrežu koristi naziv LTE. Četvrta generacija je omogućila najbrži mobilni Internet na uređajima koji su kompatibilni sa 4G mrežom. Kao što je prethodno rečeno, u 4G mrežama se ne koriste više kanali, čvorovi i terminali kao u prijašnjim generacijama, već IP mreža. Slikom 3. Prikazuje se razvoj generacija pokretnih mreža od 1G do 4G [5].

ITU (eng. *International Telecommunication Union*) je postavila uvjete da brzina prijenosa podataka korisnika koji su u pokretu iznosi 100 Mbit/s za silaznu vezu te 50 Mbit/s za uzlaznu vezu, kao i 1 Gbit/s za fiksne lokacije. Naravno, te usluge bi trebale zadovoljiti QoS (eng. *Quality of Service*) kvalitetu usluge čija je glavna zadaća pružanje prioriteta propusnosti mreže i kontrola varijacije u latenciji [6].

Kada su u pitanju performanse i mogućnosti koje LTE treba ispuniti postoji nekoliko ključnih ciljeva, a to su [6]:

- Visoke brzine prijenosa
- Smanjenje čekanja
- Visoka spektralna efikasnost
- Pojednostavljivanje arhitekture i
- Fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega

Vrlo bitnu ulogu za implementaciju LTE tehnologije ima i pojas koji se oslobađa time što će se analogno emitiranje televizije prebaciti na digitalno. Npr., pojas od 790 MHz do 862 MHz je zanimljiv sam po sebi jer pruža mogućnost boljeg pokrivanja. Razlog tome je niska frekvencija koja u konačnici rezultira manjom potrebom baznih stanica za teritorijalno pokrivanje, a posebno u ruralnim područjima. Za FDD (eng. *Frequency Division Duplex*) način rada na raspolaganju je 30 MHz upareno za *download* s pojasom od 791 MHz do 821 MHz i 832 MHz do 862 MHz za *upload*. TDD (eng. *Time Division Duplex*) način rada ima opseg od 797 MHz do 862 MHz, tj 65 MHz uparen [7].

3. KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOSTI 5G MREŽE

Mreža pete generacije donosi višestruko uvećane brzine protoka, veću pokrivenost i odaziv. Brzina konekcije će biti 10 do 100 puta veća od onoga što je trenutno dostupno. Zahvaljujući novim poboljšanim karakteristikama mreže, dolazi vrijeme kada će sve biti puno lakše. Tako će npr., automobili bez vozača komunicirati međusobno, dok će prenošenje video materijala visoke kvalitete biti svakodnevica. Uvođenjem 5G mreže se radi revolucionarni korak koji će promijeniti svijet, no kako bi se to obistinilo potrebno je prije svega unaprijediti opremu i omogućiti korisnicima dovoljno široku paletu uređaja koji podržavaju novu generaciju prijenosa podataka [8].

5G ne predstavlja samo evoluciju mobilne širokopojasne mreže, nego će donijeti jedinstvene mrežne mogućnosti i usluge. Pružiti će poboljšanje performansi kapaciteta, kašnjenja, mobilnosti, pozicioniranja, povećanja stabilnosti i dostupnosti. Omogućiti će pristup Internetu bilo gdje neovisno o visokoj mobilnosti, vrlo gustoj populaciji ili putovanju kroz ćelije. Time bi omogućio stvaranje platforme za povezivanje velikog broja senzora i uređaja s minimalnim utroškom energije i stabilnom vezom, odnosno bio bi podloga za Internet stvari (engl. *Internet of Things*, *IoT*). To će omogućiti nove aplikacije za upravljanje autonomnim automobilima, daljinsko upravljanje robotima, te upravljanje pametnim gradovima.

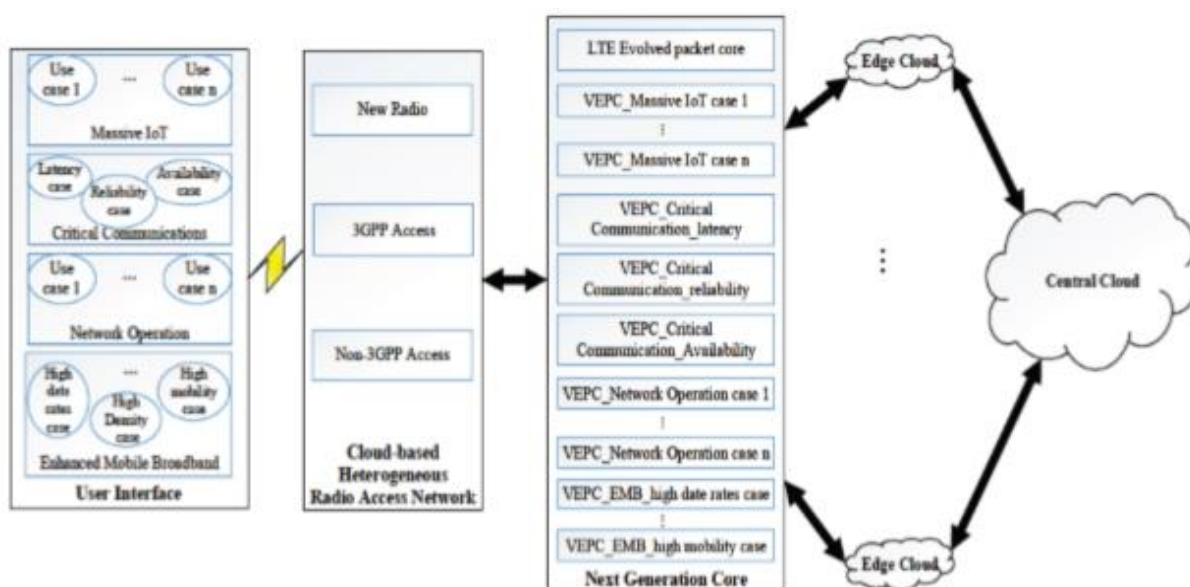
Infrastruktura 5G mreže će biti efikasnija. Ujediti će mrežne, računalne i memorijske resurse u jednu programljivu i ujedinjenu strukturu. To će ujedinjenje omogućiti softverske rekonfiguracije kojima će se moći dinamički mijenjati funkcionalnosti uređaja, a time se i sniziti troškovi opreme. Poboljšana spektralna efikasnost omogućit će 5G sustavima konzumaciju samo djelića energije koju 4G sustavi potroše kako bi dostavili istu količinu podataka [9].

S tehnološkog gledišta, nadogradnja na 5G zahtijevat će velike promjene u cijeloj mreži, ne samo u radio pristupu. Cjelokupni mrežni rad temeljito će se nadograditi kako bi na komercijalno učinkovit način odgovorio na zahtjeve za većom širinom

pojasa, povećanjem broja različitih povezanih uređaja, zahtjevnijom i raznovrsnijom signalizacijom, većom pouzdanošću i manjim kašnjenjima. Iznad svega, omogućit će nove poslovne modele i usluge u kojima se virtualizirana mreža može koristiti za različite industrije i aplikacije, te omogućiti razvoj rješenja koja mogu odgovoriti na različite potrebe korisnika [82].

3.1 Arhitektura 5G mreže

Pokretna mreža pete generacije suočit će se s dosad neviđenim izazovima i stoga će njezina arhitektura biti pravo čudo moderne tehnologije. Mreža će se općenito sastojati od korisničkog sučelja (eng. *User Interface*), heterogene radio pristupne mreže bazirane na virtualnom oblaku (eng. *Cloud-based Heterogeneous Radio Access Network*), jezgre nove generacije (eng. *Next Generation Core*), rubnih oblaka (eng. *Edge Cloud*) i centralnog oblaka (eng. *Central Cloud*), (Slika 4.).



Slika 4: Arhitektura 5G mreže, [10]

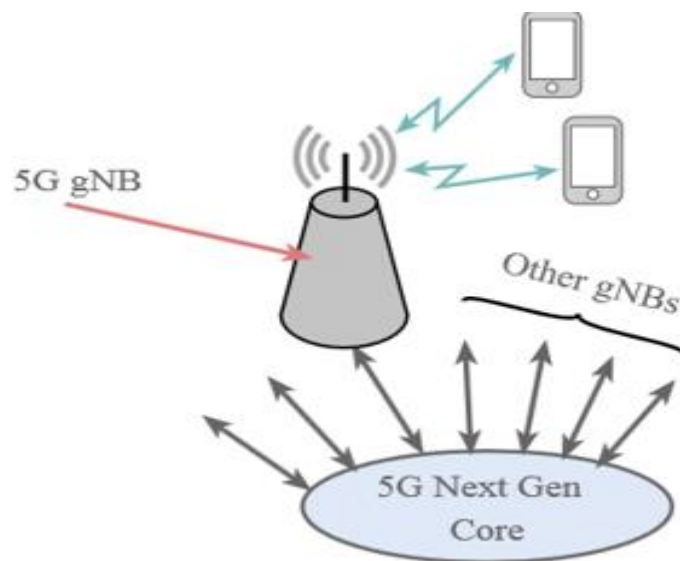
Jezgra nove generacije će biti bazirana na oblaku koji koristi slaganje mreže (eng. *Network slicing*), softverski definirano umrežavanje SDN (eng. *Software Defined Networking*) i virtualizacija mrežnih funkcija NFV (eng. *Network Functions*

Virtualisation) kako bi podržao razne primjene. SDN i NFV će se koristiti kao virtualna paketna jezgra VEPC (eng. *Virtual Evolved Packet Core*) koja se sastoji od modularizirane mrežne funkcije i novi je oblik EPC-a bazirana na slaganju mreže. Očekuje se da će jezgra nove generacije biti samostalna, te takvo odvajanje kontrole i korisnika je važno za ostvarivanje fleksibilne i prilagodljive arhitekture.

Heterogena radio pristupna mreža može kombinirati virtualizaciju, centralizaciju i koordinaciju za efektivnu i fleksibilnu raspodjelu resursa. Ovdje će se uz 3GPP pristup i ne 3GPP pristup (non-3GPP), dodat još i nove radio tehnologije kako bi se što efikasnije iskoristio spektar. Nove radio tehnologije mogu podržavati razne nove primjene u 5G mreži kao što su masivno polje antena (mMIMO), heterogena mreža (HetNet) i izravna komunikacija između uređaja (D2D). Rubni oblak je podijeljen kako bi usluga bila poboljšana, a pogotovo da bi se smanjilo kašnjenje. Dok centralni oblak može implementirati globalno dijeljenje podatka i centraliziranu kontrolu [11].

3.1.1 5G Novi Radio

5G novi radio (5G NR) je nova odašiljačka tehnologija koja će biti primijenjena u 5G mreži. Razvoj 5G NR je ključan za rad pete generacije mobilnih komunikacijskih sustava i razvijen je na temelju potreba koje 5G mreža mora zadovoljiti. Sastoji se od različitih elemenata koji su puno fleksibilniji i imaju mogućnosti prilagođavanja izazovima koji se konstantno mijenjaju. 5G NR koristi modulaciju, valne oblike i pristupne tehnologije kako bi sustavu omogućili veću brzinu, malo kašnjenje i bolju energetske učinkovitost. Postoji nekoliko bitnih tehnika za realizaciju 5G NR [12]:



Slika 5: 5G radio pristupna mreža, [12]

Novi radio spektar: Spektar frekvencija koje će biti najviše korištene u ranijoj fazi je između 3.3 GHz – 3.8 GHz i 4.4 GHz – 5.0 GHz, dok će se kasnije spektar proširiti do čak 86 GHz. Prednost visokih frekvencijskih pojava je njihova širina spektra koja će omogućiti puno veće brzine prijenosa podataka, a nedostatak je manji domet.

Usmjeravanje signalnih snopova: Tehnologija koja omogućava da snop signala iz bazne stanice bude usmjeren direktno prema mobilnom uređaju. Na ovaj način optimalni signal može biti prenesen do mobilnog uređaja, dok se ujedno izbjegava interferencija s drugim uređajima.

Tehnike dijeljenog spektra: Dobar dio frekvencijskog spektra nije efikasno iskorišten, stoga se metodom dijeljenja spektra može bolje iskoristiti potencijal mreže. Na ovaj način se poboljšava iskorištenost dostupnog frekvencijskog spektra i samim time se smanjuje kašnjenje i povećavaju brzine prijenosa podataka.

Sitne ćelije (eng. *Small Cells*): Zbog povećanja potreba za gustoćom mreže kako bi se povezao veliki broj uređaja predlaže se korištenje velikog broja malih baznih stanica. Mreža sitnih ćelija je grupa baznih stanica niske snage odašiljanja koje koriste milimetarske valove u svrhu povećanja ukupnog mrežnog kapaciteta.

Ovakva mreža radi na način da se koordiniraju grupe malih baznih stanica koje međusobno komuniciraju i tako smanjuju utjecaj fizičkih zapreka, slabljenja signala i ostalih poteškoća.

Primjenom ovih tehnika 5G novi radio omogućiti će novoj generaciji pokretne mreže mogućnosti koje do sada nisu bile moguće i donijet će revoluciju u načinu upravljanja komunikacijskim signalima [12].

3.1.2 Masivni MIMO

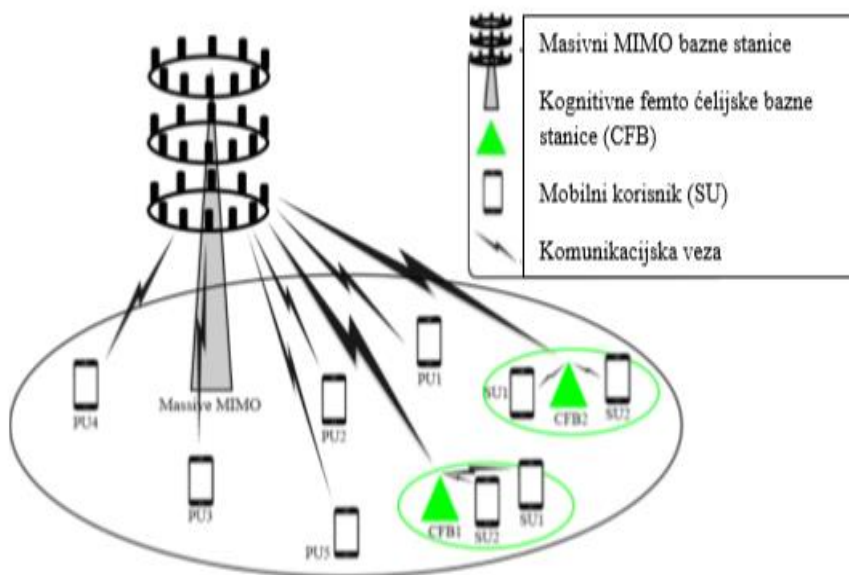
Masivni MIMO (eng. *Massive MIMO*) je nova tehnologija čiji akronim MIMO znači multiple input, multiple output. Masivni MIMO koristit će adaptivne antene kako bi značajno povećao performanse mijenjajući smjer i način odašiljanja signala kao odgovor na korisničke potrebe i zahtjevno okruženje u kojem se nalaze kao i vremenske neprilike koje značajno utječu na signal [13].

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 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 odašiljalci. 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 [14].



Slika 6: Masivni MIMO sistem, [15]

Masivni MIMO donosi mnoge prednosti i smatra se jednom od ključnih tehnologija za rad 5G mobilne mreže. Masivni MIMO (slika 6.) koristi multipath tj. više puteva širenja signala koji povećava propusnost i domet signala, a smanjuje pogreške u prijenosu podataka [16].

U budućim generacijama, svakako će se razviti kao snažna, sigurna, energetski i spektralno učinkovita tehnologija. Mnogo je prednosti korištenja masivne MIMO tehnologije [17]:

a) poboljšanje energetske učinkovitosti za 100 puta, te kapaciteta 10 i više puta

Povećanje kapaciteta se događa uslijed prostornog multipleksiranja. Ono se najčešće upotrebljava u bežičnom prijenosu, a izvodi se na način da se više antena spaja u jednu tzv. multipleksirajuću koja može istovremeno raditi s više kanala. Broj kanala ovisit će o broju spojenih antena [18].

Bazna stanica može „poslati“ energiju točno tamo gdje se nalaze terminali. Deset puta više terminala koristi istovremeno jedan izvor. To je također moguće zbog prostornog multipleksiranja. Na taj način se ne gubi na učinkovitosti. Nadalje, masivni MIMO sustavi bi trebali raditi na nekoliko stupnjeva nižim magnitudama što bi također pripomoglo energetskej učinkovitosti jer bazne stanice troše mnogo energije.

b) korištenje jeftinijih komponenti manje snage

Uklanja se velik broj skupe i masivne opreme kao što su koaksijalni kablovi te se zamjenjuju jeftinijim. Nadalje, MIMO sustav će koristiti na stotine jeftinijih pojačala reda snage mW kao zamjenu za skupa pojačala reda snage W.

c) smanjenje latencije/vremena odaziva

Latencija je jedan od važnijih problema mreža sljedeće generacije. Glavni uzrok latencije je slabljenje. Signal se prenosi od baze, putuje različitim putevima te kad napokon dođe do terminala već je oslabljen, njegova snaga se reducira. Masivni MIMO će riješiti taj problem te više neće dolaziti do smanjenja.

d) pojačava jačinu protiv namjernog upadanja i ometanja

Upad u mrežu jedan je od glavnih prijetnji cyber sigurnosti. Masivni MIMO nudi poboljšanje tako što povećava snagu te štiti od zlonamjernog upadanja i ometanja.

3.1.3 Milimetarski valovi (eng. *Mm Wave*)

Milimetarski valni spektar predstavlja raspon frekvencijskog spektra između 30 GHz i 300 GHz. Smješten je između infracrvenih valova i mikrovalova te može biti upotrijebljen za bežičnu komunikaciju s velikim brzinama prijenosa. Smatra se da će mmWave uvesti 5G mrežu u budućnost tako što će joj omogućiti veći frekvencijski spektar, veće brzine prijenosa, bolju kvalitetu video sadržaja i multimedije kao i ostalih usluga.

Prije samo par godina mmWave se nije ni razmatrao kao spektar koji se može iskoristiti učinkovito jer je samo mali broj elektroničkih komponenata mogao primati

milimetarske valove. Danas, zahvaljujući novim tehnologijama na rubu je da postane ključan za novu generaciju pokretne mreže.

Frekvencije milimetarskog valnog spektra se već koriste za primjene kao što su prijenos video sadržaja visoke kvalitete na pokretne uređaje, ali postoje problemi s visokim frekvencijama. Ti problemi su veliki gubici prilikom širenja prostorom, osjetljivost na prepreke kao što su zgrade i apsorpcija u kapljicama kiše. Ove probleme je moguće riješiti s 5G arhitekturom koja se sastoji od velikog broja malih baznih stanica.

Kratki prijenosni putevi i veliki gubici prilikom širenja dopuštaju da spektar bude ponovno iskorišten sa smanjenom količinom interferencije između susjednih ćelija smatra profesor Robert Heath sa Sveučilišta u Austinu u Teksasu. Nadalje, gdje su potrebni duži prijenosni putevi, ekstremno kratke valne duljine milimetarskih valova omogućuju malim antenama da koncentriraju signale u usmjerene snopove s jakim pojačanjem da se nadvladaju gubici širenja u prostor. Kratke valne duljine milimetarskih valova također omogućavaju da se izrade male antene koje stanu u male uređaje [19].

Frekvencijski spektar je glavni čimbenik u razvoju mobilnih usluga. Uspjeh mreže pete generacije (5G) temeljit će se na uporabi slobodnog frekvencijskog spektra viših frekvencija u kombinaciji sa danas korištenim frekvencijskim spektrom. Dodjeljivanje novog frekvencijskog spektra, koji će zadovoljiti sve potrebe nove mreže je ključan čin u nastajanju 5G tehnologija. To je moguće jedino proširenjem pojasne širine u iznad visoke frekvencije koje se nazivaju milimetar valovi (engl. *mm Waves*). Ćelije koje će raditi na iznad visokim frekvencijama su mikro, piko i femto ćelije, a sve će biti upravljane makro ćelijom. Mm valovi mogu biti podijeljeni u dvije različite kategorije, prema [20]:

- Mm valovi u frekvencijskom opsegu od 20 do 40 GHz namijenjeni mikroćelijama

- Mm valovi na frekvenciji od 60 GHz namijenjeni piko i femto ćelijama

S porastom broja mobilnih uređaja, porastao je i broj korištenog frekvencijskog spektra. Ta činjenica vodi do dva važna faktora: zahtijevanje frekvencijskog spektra i zagušenje frekvencijskog spektra, koji će biti od velike važnosti u nadolazećim mobilnim mrežama. Istovremeno, želja korisnika za većim brzinama podataka i korištenje sve većeg frekvencijskog opsega, učiniti će u budućnosti nestanak slobodnog frekvencijskog opsega [20].

Spektar milimetarskih valova donosi razne prednosti poput [30]:

- 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 [30]:

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

3.1.4 NextGen Core Network

Iako će u početku 5G mreža koristiti LTE i čak 3G mrežnu jezgru cilj je osmisliti novu mrežnu jezgru koja će moći podnijeti veće kapacitete prijenosa podataka uz malo kašnjenje, puno veći broj korisnika i zahtjeva te će morati biti energetski

efikasnija. Da bi se sve ovo moglo ostvariti morat će se koristiti neke nove tehnike koje mogu zadovoljiti tražene zahtjeve.

Tehnike koje će se koristiti u novoj jezgri mreže [21]:

SDN (eng.*Software Defined Networking*) – je produžetak NFV-a kojim se omogućuje softverska dinamička rekonfiguracija topologije mreže i time se mreža može prilagoditi potražnji, odnosno omogućuje se preusmjeravanje dostupnih kapaciteta gdje je potrebno. Korist SDN-a je u njegovoj mogućnosti da fizičku infrastrukturu prikaže apstraktno, a tim se pojednostavljuje upravljanje mrežom. Ovako će se poboljšati fleksibilnost i efikasnost.

NFV (eng.*Network Functions Virtualisation*) – to je koncept mrežne arhitekture koji omogućuje odvajanje softvera od hardvera. Omogućuje stvaranje mrežnih funkcija softverski i u oblaku (engl.*cloud*), bez potrebe za ugradnjom novog hardvera. To omogućuje skalabilnost koja podupire dostavljanje usluga na zahtjev. Najznačajnija korist NFV-a je fleksibilnost izvršavanja mrežnih funkcija neovisno o lokaciji pa one nisu više vezane za određenu lokaciju ili čvor.

Koristeći softversku mrežu postojeći hardver se može rekonfigurirati tako da pruži drugačije funkcije. NFV je mogućnost aktiviranja mrežnih funkcija u stvarnom vremenu na bilo kojem željenom mjestu unutar operacijske platforme u oblaku. Mrežne funkcije koje su se koristile na namjenskom hardveru, na primjer vatrozidu i šifriranju u poslovnim prostorijama, sada mogu raditi na softveru na virtualnom stroju. NVF je ključan za brzinsku učinkovitost i okretnost za podršku novim poslovnim aplikacijama i važna je tehnologija za jezgru spremnu u 5G [21,22].

Slaganje mreže (eng. *Network Slicing*) – S ciljem smanjivanja kašnjenja i bolje efikasnosti, mreža se može podijeliti u više slojeva koji obavljaju određene zadatke te se s obzirom na potrebe korisnika koriste. Dijeljenje mreže označava pružanje različitih softverski definiranih usluga (koje upravljaju geografskom pokrivenošću, trajanjem, kapacitetom, brzinom, kašnjenjem, sigurnošću i dostupnošću mreže) koje

se nalaze na jednoj fizičkoj infrastrukturi. Iz toga proizlazi jedna fizička mreža može pružati više različitih usluga na optimalan način.

Svojstva potrebna za realizaciju 5G nove mrežne jezgre su definirana od strane NGMN (eng. *Next Generation Mobile Network Alliance*). NGMN je telekomunikacijsko udruženje mobilnih operatera, dobavljača, proizvođača i razvojnih instituta čije je cilj na temelju iskustva u pokretnim komunikacijama razviti novu generaciju pokretne mreže. Slično kao i 5G NG, nova jezgra će morati zadovoljiti zahtjeve koji se stavljaju pred buduću pokretnu mrežu [23].

3.2 Karakteristike 5G mreže

Očekuje se da će mobilne komunikacije nastaviti svoj eksponencijalni rast u narednim godinama, te bi se prema tome trebale napraviti značajne izmjene i poboljšanja postojećih sustava kako bi se prilagodilo ogromnom povećanju kapaciteta i zahtjevima mobilnih korisnika. Bez obzira na to, arhitektura 5G heterogene mobilne mreže je potpuno novi koncept prethodnih generacija mobilnih sustava jer zahtjeva novu infrastrukturu.

Prema [21] postoje dvije vizije o tome što bi 5G mogao omogućiti: hiper-povezanost i nove tehnologije radijskog pristupa. Hiper-povezanost označava mogućnost visoke pokrivenosti i dostupnosti mreže. Ključna razlika novog i starih sustava je bolja veza koja će omogućiti IoT. Ta vizija uključuje i nove radijske tehnologije koje će omogućiti produljenje trajanja života baterije. Tehnologija nove generacije radijskog pristupa je tradicionalniji način podjele generacija i odnosi se na konkretne promjene u brzinama prijenosa i kašnjenju. Oba su pogleda važna za napredak industrije i uglavnom se spajaju pa zahtjevi za novu generaciju postaju i hiper-povezanost i nove tehnologije radijskog pristupa.

Peta generacija bi trebala uvesti neke nove standarde koji će se postupno razvijati i prilagođavati te omogućiti još bolju i stabilniju mrežu. Glavne karakteristike koje se traže od sustava nove pete generacije bi trebale biti [24]:

- 1 ~ 10 Gbit/sprijenos podataka: skoro 10 puta veće povećanje u odnosu na LTE mrežu koja je imala brzinu prijenosa podataka 150 Mbit/s
- vrijeme odziva od 1 ms: skoro 10 puta veća ušteda u odnosu na 4G gdje je iznosila 10 ms
- visoka propusnost (eng. *bandwidth*): omogućavanje povezivanja većeg broja uređaja s velikom propusnošću podataka
- velik broj povezanih uređaja: nastajanje 5G mora omogućiti povezanost na tisuće uređaja
- dostupnost od 99.999%: 5G predviđa da bi mreža praktički uvijek morala biti dostupna
- 100% pokrivenost tzv. „u svako vrijeme – svugdje“: 5G bi trebala omogućiti potpunu pokrivenost bez obzira gdje se korisnik nalazio tj. koja je njegova lokacija
- redukcija korištenja energije za skoro 90%: pojavom velikih brzina prijenosa te masivnom povezanošću, razvoj zelene tehnologije bit će presudan u budućnosti
- izdržljivost baterije: redukcija u potrošnji struje bit će veoma bitna u nastajanju 5G mreže

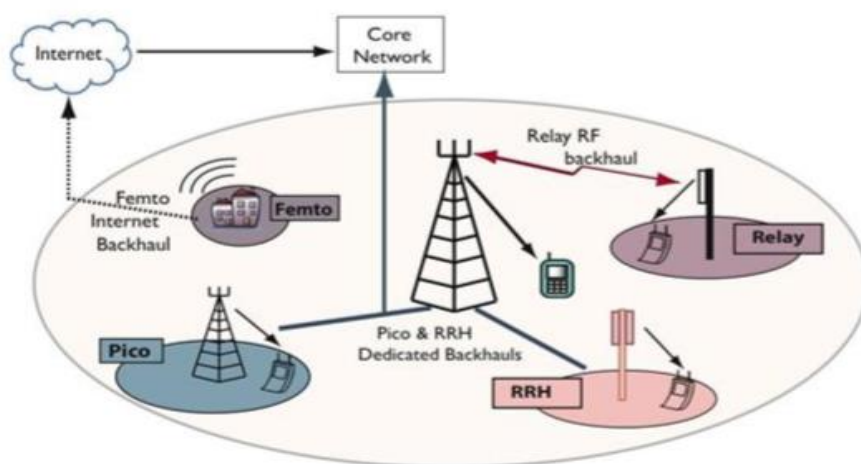
S obzirom da su se i do sada teško ispunjavali svi uvjeti u navedenim rokovima, sumnja se da će operateri uspjeti do 2025. godine ispuniti sve uvjete. Prva dva uvjeta spadaju pod nove tehnologije radijskog pristupa, a ostalih šest pod hiper-povezanost. Tih šest zahtjeva nisu karakteristike koje definiraju generaciju.

Dostupnost od 99,999% i 100% geografska pokrivenost nisu slučajevi upotrebe niti tehnički problemi nego su ekonomske i poslovne odluke. Ti se zahtjevi mogu zadovoljiti s bilo kojom postojećom tehnologijom i od bilo kojeg mobilnog operatera. Operateri odlučuju gdje će smjestiti ćelije u ovisnosti o cijeni ulaganja i dobiti.

3.2.1 Heterogena mreža

HetNet (eng. *Heterogeneous Network*) je tehnika čija je zadaća pružiti veliku pokrivenost bežične mreže i visoku propusnost u 5G sustavu. Radi se o višeslojnom sustavu koji se sastoji od makro, piko ili femto ćelija koje omogućavaju visoku pokrivenost signalom od otvorenog prostora do zgrada, kuća i podzemnih područja. Upotrebom ove tehnike poboljšat će se kapacitet mreže, širina pokrivenosti, energetska efikasnost i iskoristivost spektra.

HetNet ima i svojih mana u odnosu na jednoslojnu mobilnu mrežu, pa su tako korisnici izloženiji prisluškivanju. Kako bi se izbjeglo prisluškivanje predlaže se ograničavanje snage signala koji se odašilje, ali snaga signala mora biti dovoljno jaka kako bi mobilni uređaji ostali aktivni. Također, zbog velike gustoće malih ćelija, informacije kao što su njegova lokacija se mogu lako otkriti [25].



Slika 7: Heterogena mreža, [25]

Heterogene mreže imaju tri osnovne komponente: mrežu makro baznih stanica; male ćelije, (npr. femto, piko, WiFi hotspotovi) i mrežni softver (eng. *network intelligence*), kao ključni element za međusobni rad i integraciju makro i malih baznih stanica, (slika 7).

Osnovna ideja je da pored bežične mreže makro ćelija postoje i upravljive male (piko) ćelije koje rade sa makro mrežom. Time se značajno povećava stupanj pokrivenosti i prosječan kapacitet mreže. Uvođenjem piko ćelija u makro mrežu može se riješiti eventualni problem zagušenja u mreži [26].

3.2.2 Male ćelije

5G mreže dizajnirane su za rad u kombinaciji s 4G mrežama koristeći niz makro ćelija, malih ćelija i namjenskih sustava za izgradnju. Male ćelije su mini bazne stanice dizajnirane za vrlo lokaliziranu pokrivenost, obično od 10 metara do nekoliko stotina metara, što osigurava nadopunu za veću makro mrežu. Male ćelije su neophodne za 5G mreže jer frekvencije mmWave imaju vrlo kratak raspon veza [27].

Ovo rješenje može značajno utjecati na povećanje spektralne efikasnosti u području djelovanja ćelija. Postoje dva načina postavljanja manjih ćelija visoke gustoće, a to su prema [28]:

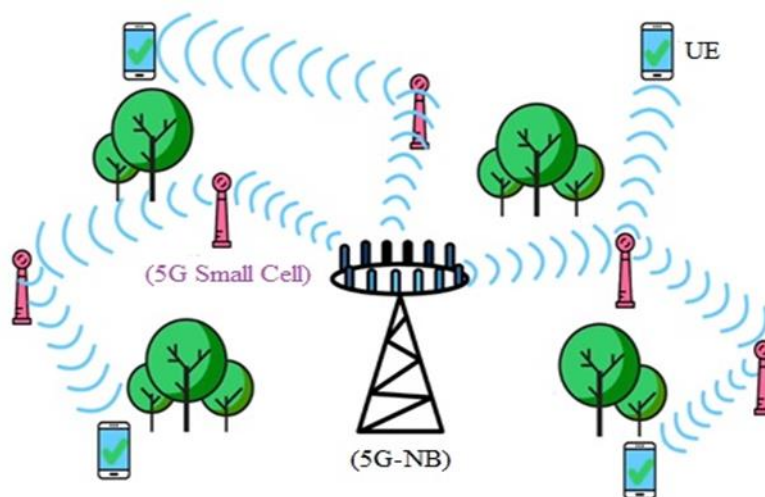
- Preklapanjem postojećih ćelijskih sistema manjim ćelijama visoke gustoće i iste tehnologije kao što su mikro, piko i femto ćelije
- Preklapanjem manjim ćelijama visoke gustoće različitim tehnologijama u odnosu na jedan ćelijski sustav (npr. HSPA, LTE, LTE- A i dr.).

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 [29].

Mobilne mreže koriste bazne stanice velike snage (tj. NB) za prekrivanje većih udaljenosti kako bi opslužile veći broj korisnika. 5G koristi veće frekvencije poput milimetrskih valova koji se blokiraju zbog prepreka i kao rezultat toga mobilni korisnici neće primiti 5G signale iza takvih prepreka. Male ćelije rješavaju ovaj problem blokiranja.

Male ćelije 5G male snage su raširene po cijeloj regiji koju treba služiti. One su u osnovi bežične pristupne točke male snage koje rade u licenciranom spektru. Njima upravljaju telekom operateri. Zbog svojih malih dimenzija, mogu se lako instalirati i na zatvorenim mjestima i na mjestima ograničenim prostorom. Stoga pomažu u poboljšanju stanične pokrivenosti i popunjavanju otvora za pokrivanje.

Male ćelije primaju 5G signal od glavnog NB-a i isti ih prenose korisnicima. Kad se korisnik pomakne iza prepreke, mobitel automatski prelazi na mini baznu stanicu, tj. malu ćeliju kako bi veza ostala netaknuta. To pomaže korisnicima 5G da iskoriste neprekidnu pokrivenost mreže 5G. Slika 8 prikazuje tipično instaliranu 5G mrežu malih ćelija zajedno s glavnom 5G-NB (ili 5G baznom stanicom) [31].



Slika 8: Mreža malih ćelija 5G mreže, [31]

Prednosti malih ćelija su [31]:

- bolja pokrivenost u područjima gdje je signal slab ili nije dostupan zbog blokiranja. To pomaže u slučaju zatvorenih mjesta, kao i na otvorenim mjestima iza prepreka
- pružaju podršku većem broju korisnika u 5G mobilnoj mreži
- troše malo energije zbog rada male snage
- veličina im je mala stoga ih je lako instalirati .

3.2.3 Dijeljenje frekvencijskog spektra

Napretkom tehnologija javlja se i potreba za povećavanjem spektra u odnosu na prijašnje generacije. Kako će nove generacije zauzimati veće dijelove radijskog spektra, tako taj novi spektar treba i stvoriti.

Nove generacije mobilnih komunikacija obično zauzimaju nove i veće dijelove radijskog spektra koji je bio i ostao ograničavajući resurs. Zbog toga se primjenjuju različite metode njegove uporabe među kojima su i sljedeće [5]:

- licencirani spektar dodijeljen pojedinom operatoru na određeno vrijeme
- nelicencirani dio spektra za slobodno korištenje
- dio spektra koji pripada drugome operatoru za vrijeme kada ga ovaj ne koristi
- neiskorišteni dio RTV radiodifuznog spektra koji se naziva „bijeli prostor“ (eng. *white space*) .

Primjenom tehnologije pametni radio (eng. *cognitive radio*) omogućava se da različite radio tehnologije (GSM/UMTS) dijele isti spektar, učinkovito pronalazeći neiskorišteni dio spektra i prilagođavajući prijenosnu shemu (TDMA/WCDMA) zahtijevanoj tehnologiji koja se trenutno koristi slobodnim dijelom spektra. To je dinamičko upravljanje radio resursom i temelji se na metodama softverski definiranog radija.



Slika 9: Podjela radijskog spektra, [32]

Dijeljenje frekvencijskog opsega sastoji se od tri dimenzije: frekvencije, vremena i lokacije te može biti korišteno od strane više korisnika istovremeno. Neki od primjera

dijeljenja frekvencijskog opsega su ponovna upotreba frekvencija u FDMA, a kasnije u TDMA sustavima. Metode za dijeljenje frekvencijskog opsega možemo podijeliti u 3 kategorije, bazirane po prioritetima pristupanju u radijski spektar, prema [20]:

- 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 [33].

3.3 Mogućnosti i usluge u 5G mreži

Sa svakom novom generacijom komunikacijskih sustava dolaze novi načini primjene o kojima zapravo najviše ovisi koliko će vremena biti potrebno kako bi se novi sustav prihvatio i ušao u široku upotrebu. Dolaskom 5G mreže uspostaviti će se apsolutna povezanost objekata, ljudi, podataka i procesa u cjelinu. Upravo velika brzina i mala latencija (vrijeme kašnjenja) su razlog zbog kojeg se uvođenjem 5G mreže očekuje nova generacija aplikacija i usluga koje će značajno olakšati svakodnevnicu korisnika i integrirati već postojeće tehnologije u sve aspekte života. Intenzivna digitalizacija raznih gospodarskih grana predstavlja prvi korak prema uslugama 5G mreže, a taj će se proces u sve većoj mjeri nastaviti i u bliskoj budućnosti kako 5G mreža bude prihvaćena širom svijeta. Ključ digitalizacije leži u načinima na kojima će različite industrije koristiti 5G za transformaciju poslovanja.

Prema istraživanju koje je proveo Ericsson ConsumerLab, ističe se šest najznačajnijih zahtjeva korisnika vezano uz ponudu usluga mobilnog širokopojasnog pristupa sada i u 5G budućnosti. Korisnici predviđaju da će većina 5G osnaženih usluga postati široko rasprostranjene u tri do četiri godine od uvođenja 5G mreže te predviđaju da se u 5G budućnosti neće plaćati svaki potrošeni gigabajt. Šest najznačajnijih zahtjeva korisnika su [34]:

- Omogućiti jednostavan doživljaj kupovanja - Korisnici telekom tržište doživljavaju suviše složenim. 6 od 10 korisnika bori se sa složenošću paketa mobilnih usluga, a svega trećina je zadovoljno načinom na koji operater predstavlja pakete usluga online. Korisnici žele jednostavan proces kupnje uz veću transparentnost potrošnje.
- Ponuditi dojam neograničenosti - Korisnici ne računaju na neograničenu količinu podataka, no očekuju osjećaj neograničenosti. Opuštenost je glavni motivator vezan uz neograničene podatke i operateri moraju istražiti alternativne načine da ponude taj osjećaj slobode.
- Gigabajti kao valuta - Prosječnom korisniku pametnog telefona tijekom godine ostane neiskorišten 31 gigabajt mobilnih podataka iz tarife što je dovoljno za 65 sati video poziva, 517 sati streaminga glazbe, što znači da prosječni korisnik ima 1,5 terabajta podataka na raspolaganju tijekom života. Korisnici bi taj višak koristiti kao valutu te očekuju mogućnost štednje, trgovanja ili darovanja neiskorištenih podataka.
- Pružiti više od samih podataka - Veće brzine širokopojasnog pristupa i poštteni uvjeti ugovora o mobilnoj komunikaciji smatraju se važnijim od same količine podataka koji trenutačno dominiraju na tržištu. Kako kombinacije video sadržaja i inovativne ponude podataka igraju sve značajniju ulogu u izboru paketa usluga, korisnici od operatera očekuju inoviranje, razvoj te personalizaciju podatkovnih planova.
- Pružiti više uz 5G - Globalno je ideja 5G usluga zanimljiva za čak 76 posto korisnika pametnih telefona, a 44 posto ih je spremno platiti za 5G. Korisnici

očekuju da će većina 5G usluga postati široko rasprostranjena u 3 do 4 godine, a preko 50 posto ih očekuje da će 5G usluge početi koristiti već u razdoblju od dvije godine nakon uvođenja. Uz brzinu, pokrivenost mrežom i niže cijene, očekuju i poboljšanja poput duljeg trajanja baterije te mogućnost spajanja, ne samo s uređaja, već i s Interneta stvari. Korisnici također predviđaju da više neće plaćati potrošnju gigabajta već svaku 5G uslugu ili povezani uređaj.

- Pokazati prave mrežne karakteristike - Na putu prema 5G budućnosti, korisnici od operatera žele ukidanje marketinških slogana bez pokrića. Umjesto toga operateri se trebaju usredotočiti na pravo mrežno iskustvo, te povećati poštenje vlastitog marketinga jer izvještaj pokazuje da svega 4 posto ispitanika vjeruje oglašavanju i statistici vezanoj uz performanse mreža. Mnogi će platiti u prosjeku 17 posto više ako mobilnu mrežu operatera percipiraju najboljom na tržištu.

Među glavnim prednostima 5G tehnologije su sigurnost mreže i niska potrošnja energije što će poslovnim sustavima omogućiti efikasnu i troškovno učinkovitu digitalizaciju.

Usluge koje očekujemo u 5G mobilnoj mreži, prikazane na slici 10, su [35]:

- Interakcija između čovjeka i Internet stvari (engl. *Internet of Things – IoT*)
- Doživljaj širokopoasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme
- Kritično upravljanje udaljenim uređajima
- Pametna vozila, transport i infrastruktura
- Medijski sadržaji bilo gdje



Slika 10: Usluge u 5G mreži, [35]

Interakcija između čovjeka i Interneta povezivati će korisnika 5G mreže sa stvarima poput računala, strojeva, raznih senzora i ostalih uređaja koji će biti spojeni na Internet. Usluga će biti namijenjena svim osobama u želji povećanja javne sigurnosti, zdravstvene skrbi i korištenja u svakodnevnom životu.

Doživljaj širokopojasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme omogućiti će pristup mobilnom Internetu pete generacije u napučenim područjima, javnom prijevozu i u slučaju velikog skupa ljudi na malom prostoru bez zagušenja. Omogućavati će visoku kvalitetu usluge u otvorenim i zatvorenim prostorima, kao i u zahtjevnim mrežnim uvjetima. Usluga će biti dostupna svim korisnicima mreže.

Kritično upravljanje udaljenim uređajima omogućiti će korisniku usluge daljinskog upravljanja teškim strojevima, praćenja rada tvornica/procesa u realnom vremenu i slične usluge namijenjene sektoru proizvodnje, zdravstvene skrbi i radu u rudniku. Ova usluga povećava učinkovitost i smanjuje troškove te komunikacijske sabirnice zamjenjuje bežičnim linkovima.

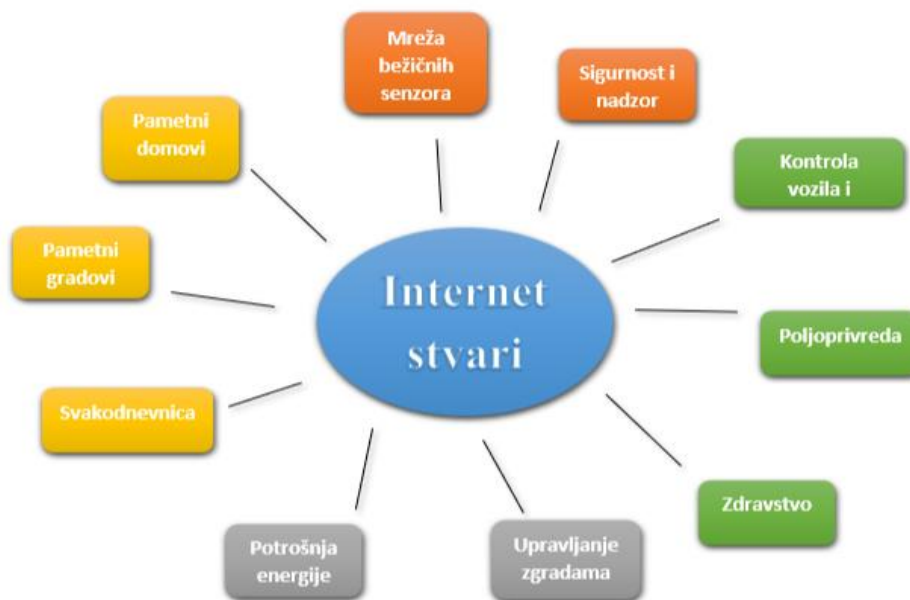
Pametna vozila, transport i infrastruktura je usluga namijenjena autoindustriji u svrhu povezivanja i komunikacije između svih prijevoznih sredstava u cilju smanjenja zagušenja prometa, uštede energije i povećanja sigurnosti u prometu. Usluga će

koristiti senzore postavljene u cestama, željezničkim prugama i pistama koji će komunicirati međusobno s vozilima.

Medijski sadržaj bilo gdje je Cloud bazirana usluga koja će omogućavati korisniku pristup medijskom sadržaju na bilo kojem mjestu u bilo koje vrijeme uz pristup Internet vezi. Usluga omogućava transformaciju industrije na „all IP“ (engl. *Internet Protocol*) te pruža korisniku vrhunsku video kvalitetu 4K, 8K, HDR (engl. *High Dynamic Range*), HFR (engl. *High Frame Rate*) [35].

3.4 Internet stvari

IoT (eng. *Internet of Things*) opisuje tehnologiju povezivanja fizičkih uređaja, vozila i drugih stvari, koje prikupljaju, dijele i razmjenjuju podatke putem Interneta. Spajanje uređaja može biti žično ili bežično te omogućuje potpuno nove mogućnosti za međusobnu interakciju (komunikaciju) između ljudi i različitih sustava. Na taj način komunicirati mogu stvari, uređaji i stvari/uređaji s ljudima, uz zajednički cilj olakšavanja i pojednostavnjivanja života ljudi [36].



Slika 11: Internet stvari, [39]

Internet stvari (IoT) je tehnologija koja obećava da će poboljšati naš život uvođenjem inovativnih usluga zamišljenih za širok raspon područja primjene: od industrijske automatizacije do kućanskih aparata, od zdravstvene zaštite do potrošačke elektronike i mnogih drugih. Trenutno imamo 10 milijardi IoT uređaja povezanih i 24 do 50 milijardi ukupnih veza koje se očekuju u sljedećih pet godina [83].

Nijedna prethodna generacija mobilne tehnologije nije imala potencijal potaknuti gospodarski rast u mjeri u kojoj obećava 5G što tu tehnologiju čini sposobnom unaprijediti industriju kao što su to nekada činili raniji izumi koji su proizveli dosadašnje industrijske revolucije, stvoriti ono što se naziva četvrta industrijska revolucija ili industrija 4.0.

Digitalna infrastruktura na 5G tehnologiji može učiniti udaljenost manje važnom nego ikada prije čime, ne samo da mijenja živote ljudi i socijalne odnose nego u gospodarstvu i industriji potiče nove ekonomske vrijednosti iz poboljšane mobilna širokopojasna mreža za digitalizaciju industrije. Pri tome valja znati da je za realizaciju 5G ekosustava nužna uska suradnja unutar tehnološkog ekosustava, te regulatornih, sigurnosnih i industrijskih partnera. Bez takve suradnje nemoguće je ostvariti futurističke scenarije onoga što 5G tehnologija omogućuje kao što su pametni gradovi, industrijski internet stvari, primjenjivati proširenu i virtualnu stvarnost, ostvariti autonomni i povezani transport, digitalizirati medicinsku skrb i dr. [37].

Aplikacije razvijane za 5G mrežu su vrlo raznolike i imaju različite zahtjeve mreže, posebno vezano uz visinu dopuštene latencije, visinu vršnog prijenosa podataka, gustoće povezanosti terminalnih uređaja i napajanje uređaja. Kako bi se ostvario puni potencijal 5G mreže, morati će se zadovoljiti različiti zahtjevi na način kako mreža dodjeljuje određene resurse različitim aplikacijama. Prema analizi tvrtke Huawei, sljedećih 10 aplikacija će imati vrlo veliku važnost u 5G mobilnoj mreži [38]:

1. Virtualni oblak i Proširena stvarnost – Igranje/modeliranje u stvarnom vremenu
2. Autonomno povezivanje – Autonomna vozila i međusobna komunikacija

3. Pametna proizvodnja – Udaljeno upravljanje bazirano na računalstvu u oblaku
4. Energetska povezanost – Autonomno napajanje energijom
5. Bežično eZdravlje – Udaljena dijagnostika s povratnom informacijom o stanju
6. Bežično kućno okruženje – UHD 8K Video i igranje bazirano u oblaku
7. Povezani dronovi – Profesionalna inspekcija i sigurnost
8. Društvene mreže – UHD/Panoramsko emitiranje signala uživo
9. Osobni asistent – Potpomognute pametne kacige
10. Pametni grad – Video nadzor grada

5G je dizajniran za masovnu povezanost oko milijun uređaja na mreži po kilometru kvadratnom. To otvara mogućnost velikog broja stvari koje prikupljaju, prenose i dijele podatke putem senzora. Procjene variraju u zavisnosti od broja senzora. Nedavni izvještaj od Juniper Research-a, na primjer, govori da će ta brojka vjerojatno premašiti 50 milijardi do 2022. godine.

U ovom novom svijetu, koncept „pametnih gradova“ će konačno postati stvarnost. Kamere i senzori će pratiti pokrete u prometu i pokrete pješaka, uslove životne sredine, hitne službe, komunalne mreže i druge informacije kako bi optimizirali rad grada. Ulična svjetla će se paliti samo kada budu potrebna, kako bi se štedjela energija. Autonomna samoupravljujuća vozila postat će svakodnevna realnost u novom dobu povezane mobilnosti, jer će stotine senzora pretvoriti automobile u podatkovne centre na kotačima. Tako će vozači imati više vremena za rad, odmaranje ili druženje [40].

Autonomni automobili opremljeni su senzorima, fotoaparatom, računalima, GPS-om, satelitskim prijemnicima i radarima kratkog dometa te obavljaju sve ili dio zadataka u vožnji. Vozila koja pomažu vozačima već se nalaze na europskom tržištu. Samoupravljujuća vozila se sada testiraju i očekuju se na tržištu između 2020. i 2030. godine, a potpuno automatizirana vozila očekuju se nakon 2030. godine. Prema planu, sva nova vozila bi do 2022. godine trebala biti umrežena.

Kako se navodi u izvješću Europske komisije, automobili i kamioni bez vozača mogu smanjiti broj prometnih nesreća i smrti na cesti te poboljšati sigurnost

cestovnog prometa. Također, digitalne tehnologije mogu smanjiti prometne zastoje, emisije stakleničkih plinova i zagađivača zraka, te povećati mobilnost otvaranjem cestovnog prijevoza starijim osobama ili osobama s invaliditetom ili smanjenom pokretljivošću [41].

Gradovi nisu jedini slučaj na koji će 5G mreža imati veliki utjecaj. Pogled na budućnost na selu imamo na zapadu Engleske, gdje projekt 5G Rural First istražuje nove načine razvoja u agrotehnologiji. To znači da će autonomni traktori i dronovi povezani na 5G mreži moći pružiti slike visoke rezolucije o analizi usjeva, korova i zemlje. U međuvremenu, na farmama koje proizvode mlijeko, senzori se ugrađuju u kravlje ovratnike, mjereći njihovo zdravlje i plodnost. Tako da će mašine, kada uđu u jednu od robotskih mljekara, znati koliko koja krava treba dati mlijeka [40].

Područja primjene IoT u zdravstvu su gotovo beskonačna [42]:

- Medicinski uređaji - već sada praktički nema složenijih uređaja koji nisu spojeni na Internet, ubuduće niti jedan neće moći funkcionirati bez trajnog spoja na Internet
- Kirurški i slični alati- uključivo pomoć u obliku „povećane stvarnosti“ (eng. *Augmented Reality*)
- Kućni medicinski pribor, npr. laboratorijski senzori u zahodskoj školjci
- Senzori svih vrsta, najčešće „wearables“ – „nosivi“ IoT
- Virtualne stvari- poput baza znanja (npr. IBM Watson)
- Implantati - uključivo mikro i nano jedinice
- Nadzor zdravog ponašanja - potaknuto bonusom u premiji osiguranja.

Stručnjaci povezani s zdravstvom počeli su integrirati rješenja kao što su daljinska audio/video dijagnoza, daljinski upravljana operacija i daljinsko praćenje zdravlja pomoću nosivih/prijenosnih uređaja [38].

Nema niti jedne studije o budućnosti zdravstva koja ne navodi tri temeljna problema koji trenutno opterećuju sve zdravstvene sustave u razvijenom svijetu :

- Starenje populacije i s time povezani veći zahtjevi na sustav zdravstva
- Pojavu novih sredstava i metoda koji poskupljuju ukupnu zdravstvenu uslugu

- Borba protiv eksplozije zdravstvenih troškova

IoT je jedan od tehnoloških napredaka koji imaju obećavajući potencijal za svaki od navedenih izazova. Neki od primjera su [42]:

- Upravo za stariju populaciju IoT uređaji poput „pametne“ kutijice za lijekove osiguravaju pridržavanje redovitog uzimanja lijekova – javljaju obitelji ili liječniku da je lijek uziman neregularno.
- IoT trajno monitoriranje pojedinih funkcija pacijenata omogućuje reprezentativno praćenje učinaka novih terapijskih sredstava i metoda; tako se mogu izbjeći neopravdano visoki troškovi postupaka koji ne daju značajnu vrijednost u odnosu na ishod liječenja
- IoT upotrebljeni u upravljanju resursima (ljudskim, trajnim, potrošnim) omogućuju njihovu optimalnu alokaciju, čime se za manje ili iste troškove postiže bolja iskorištenost, a time i dostupnost neophodne zdravstvene usluge.

IoT omogućuje povezanost pacijenta na fiziološkoj razini s uređajem koji osigurava očuvanje vitalnih funkcija. Kao primjer uzmimo IoT implantat za upravljanje srčanim ritmom ili IoT inzulinsku pumpu.

4. SIGURNOSNI I TEHNOLOŠKI IZAZOVI 5G MREŽE

Iako su za sigurno uvođenje tehnologije 5G u najvećem dijelu odgovorni sudionici na tržištu, a države članice EU nadležne su za nacionalnu sigurnost, sigurnost 5G mreže pitanje je od strateške važnosti za cijelo jedinstveno tržište i tehnološku suverenost EU-a. Dobro koordinirana provedba paketa instrumenata nužan je preduvjet da bi poduzeća i građani EU-a mogli u potpunosti i sigurno iskoristiti sve prednosti nove tehnologije [43].

Uz prednosti koje donosi komunikacijski sustav pete generacije, dolaze i mane u sigurnosnom području. Zbog načina izvedbe s rasprostranjenim odašiljačima i prijamnicima te ograničenom širinom frekvencijskog pojasa, moguće je da se jave neki sigurnosni problemi te je tada teže zadržati autentičnost, integritet i povjerljivost komunikacije. Obujam komunikacije bit će golem s velikim brojem uređaja koji međusobno komuniciraju te će i to biti dodatan sigurnosni izazov.

Tehnologija 5G, čiji se globalni prihodi u 2025. godini procjenjuju na 225 milijardi eura, ključna je za konkurentnost Europe na globalnom tržištu, a njezina kibernetička sigurnost presudna je za postizanje strateške autonomije Europske Unije. Riječ je o milijardama povezanih objekata i sustava, među ostalim u bitnim sektorima, kao što su energetika, prijevoz, bankarstvo i zdravstvo te industrijski kontrolni sustavi koji sadržavaju osjetljive informacije i podržavaju sigurnosne sustave.

Istovremeno, zbog manje centralizirane arhitekture, vrhunske pametne računalne snage, potrebe za većim brojem antena i povećane ovisnosti o softveru, 5G mreže imaju više potencijalnih ulaznih točaka za napadače. Raste broj kibernetičko sigurnosnih prijetnji i one postaju sve sofisticiranije. Budući da će mnoge ključne usluge ovisiti o 5G tehnologiji, sigurnost mreža od najveće je strateške važnosti za cijelu EU [43].

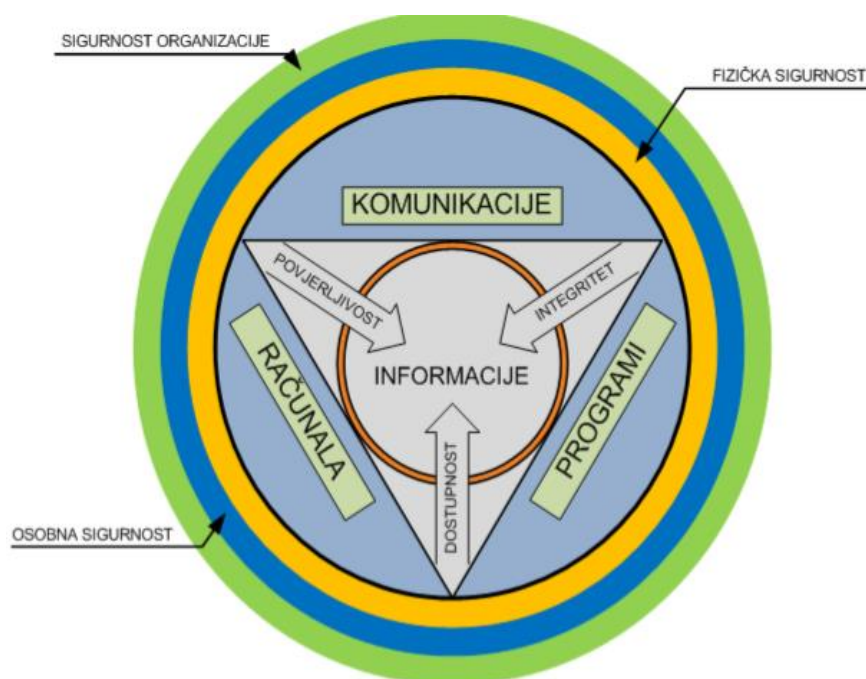
4.1 Sigurnosni mehanizmi za sigurnost 5G mreže

U dosadašnjim generacijama bežičnih mreža dosta se uspješno rješavalo sigurnosne probleme pomoću kodiranja poruka, obostrane autentifikacije pošiljatelja i primatelja i kroz hijerarhiju ključeva (privatni i javni ključ). Međutim pred 5G mrežu se stavljaju veliki izazovi stoga se sigurnosni mehanizmi moraju prilagoditi tome.

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.

Sigurnosni mehanizmi koji će podići razinu sigurnosti u petoj generaciji pokretnih mreža su [45]:

- održavanje povjerljivosti komunikacije,
- osiguranja dostupnosti usluge,
- zadržavanja integriteta.



Slika 12: Sigurnosni mehanizmi, [45]

Kao što je vidljivo iz slike 12, sigurnosni mehanizmi zaštite su podijeljeni na tri osnovne razine:

- kao prva i najvažnija je fizička sigurnost, pod kojom se smatra sigurnost računalne opreme i podataka,
- osobna sigurnost je zaštita korisnika i povjerljivih informacija o korisniku
- sigurnost organizacije, koja ishodi iz prvih dviju razina.

4.1.1 Povjerljivost

Povjerljivost je zaštita informacija kod koje je potrebno spriječiti otkrivanje informacija od strane neovlaštenih osoba ili sustava. Ukoliko se informacijama koje su označene kao povjerljive ne rukuje na pravilan način, može doći do povrede povjerljivosti [45].

Povjerljivost se sastoji od dva aspekta, povjerljivost podataka i privatnost. Povjerljivost podataka štiti podatke u prijenosu od pasivnih napada tako što ograničava pristup samo na ovlaštene korisnike. Privatnost s druge strane spriječava kontroliranje i utjecanje na informaciju, tj. spriječava se dolazak analitičkih podataka do mogućeg napadača.

Povjerljivost podrazumijeva u prvom redu tajnost podataka i mogućnost dostupnosti podataka samo ovlaštenim osobama. Svakako kod ovog aspekta najveća pažnja usmjerena je na korisničku identifikaciju i autentifikaciju.

Postoje razne prijetnje što se tiče povjerljivosti podataka, a najčešće su: hakiranje, maskiranje, neovlaštena korisnička aktivnost, nezaštićeno preuzimanje datoteka, lokalne mreže, trojanski konji i sl. Najgrublje rečeno postoje dvije metode zaštite povjerljivosti informacija, a to su korištenje kontrole pristupa (fizičke i logičke) i metoda enkripcije. Kada je riječ o kontroli pristupa vrlo je jednostavno odrediti povjerljivost podataka. Samo osobe koje su ovlaštene za pristup informacijama moći će doći do njih, a ostalim korisnicima pristup tim informacijama je onemogućen. Metoda enkripcije nešto je kompliciranija, pa kako bi se pristupilo informacijama,

ovlašteni korisnici moraju imati tajni ključ koji im omogućuje uvid u informacije, jer ostali korisnici također mogu imati pristup istim informacijama, ali bez tajnog ključa te informacije su za njih besmisleni podaci [46].

4.1.2 Dostupnost

Da bi bio ispunjen uvjet dostupnosti, podaci i informacije ovlaštenim (autoriziranim) korisnicima moraju u svakom trenutku biti dostupne. Dostupnost se može definirati kao garancija ovlaštenim korisnicima da će im informacijski sustav biti na raspolaganju kada ga imaju potrebu koristiti.

Kako bi informacijski sustav bio dostupan u svakom trenutku podrazumijeva se ispravan rad [45]:

- sustava za pohranu i obradu informacija,
- zaštitnog sustava i
- komunikacijskih veza putem kojih se pristupa informacijama.

Dostupnost se može narušiti na nekoliko načina, a najčešće je uskraćivanjem usluge u smislu zagušenja primjerice mrežne opreme i poslužitelja, zatim kroz gubitak sposobnosti procesiranja podataka kao rezultat prirodnih katastrofa kao što su to poplave, požari, potresi i sl.

Dostupnost ocjenjuje robusnost sustava u slučaju raznih napada. Glavni napad na dostupnost je DoS napad koji može onemogućiti korištenje usluga koje mreža pruža. Ometanje također utječe na dostupnost mreže tako što otežava komunikaciju. Veliki broj čvorova 5G mreže potrebnih za IoT predstavljaju veliki izazov u sprječavanju ometanja i DDoS napada kako bi se osigurala dostupnost mreže [44].

4.1.3 Integritet

Integritet se definira kao zaštita postojanja, točnosti i kompletnosti informacije kao i procesnih metoda [47].

Integritet ili cjelovitost kao aspekt sigurnosti odnosi se na činjenicu da podaci/informacije moraju ostati u neizmijenjenom obliku, cjeloviti i točni. Očuvanje integriteta podataka znači da korisnik podatke ne može izmijeniti bez odobrenja, tj. da su podaci potpuni i ispravni. Od velike je važnosti zaštititi povjerljive podatke od neovlaštenih izmjena, jer se u velikim sustavima često mogu dogoditi namjerni ili nenamjerni slučajevi narušavanja integriteta podataka [45].

Ciljevi integriteta ponajviše se odnose na sprječavanje neovlaštenih korisnika da modificiraju podatke ili programe, zatim sprječavanje ovlaštenih korisnika da modificiraju podatke ili programe na nepropisan i neovlašten način i u konačnici održavanje konzistentnosti podataka i programa. Baš kao i povjerljivost, integritet se čuva upotrebom kontrole pristupa i enkripcijskim algoritmom. Način na koji se može vidjeti gubitak integriteta jest u slučaju da neovlašteni korisnik napravi bilo kakve promjene na enkriptiranim podacima informacije koje su enkriptirane u većini slučajeva budu nepovratno izgubljene. Nažalost ako neovlaštenu promjenu napravi osoba koja je ovlaštena za pristup podacima, tada nije tako lako utvrditi gubitak integriteta [46].

4.2 Procjena rizika za uvođenje 5G mreže

Na temelju nacionalnih procjena rizika Skupina za suradnju u području mrežne i informacijske sigurnosti, koju čine predstavnici država članica EU, Komisije i ENISA-e (Europska agencija za mrežnu i informacijsku sigurnost), objavila je 9. listopada 2019. godine izvješće o usklađenoj procjeni rizika na razini EU-a za kibersigurnost 5G mreža. U izvješću se navode najvažnije prijetnje i akteri koji ih uzrokuju, najosjetljivija infrastruktura, glavne slabosti (uključujući tehničke i druge vrste slabosti) koji utječu na 5G mreže [48].

U izvješću je utvrđen niz važnih sigurnosnih izazova koji će se vjerojatno pojaviti ili postati izraženiji u 5G mrežama u usporedbi sa situacijom u postojećim mrežama. Ti se problemi uglavnom odnose na: ključne inovacije u 5G tehnologiji (koje donose i brojna konkretna sigurnosna poboljšanja), a posebno na veliki dio softvera i široki raspon usluga i aplikacija koje omogućuje 5G tehnologija, ulogu dobavljača u izgradnji i radu 5G mreža i ovisnost o pojedinačnim dobavljačima.

Nadalje, zaključuje se da ti izazovi stvaraju novu sigurnosnu paradigmu, zbog čega je potrebno ponovno procijeniti aktualni politički i sigurnosni okvir za sektor tehnologije 5G i njegov ekosustav, a države članice trebale bi poduzeti potrebne mjere za smanjivanje rizika.

Budući da će ključne usluge bitne za funkcioniranje unutarnjeg tržišta, te za održavanje i rad ključnih socijalnih i gospodarskih funkcija, kao što su energetika, promet, bankarstvo i zdravstvo, te industrijskih kontrolnih sustava ovisiti o 5G mrežama, sistemski i širi poremećaji mogli bi imati posebno ozbiljne posljedice. Svaka slaba točka 5G mreža može se iskoristiti za ugrožavanje sigurnosti takvih sustava i digitalne infrastrukture, što može uzrokovati golemu štetu, [48].

Zato je opravdano osmisliti čvrst pristup koji se temelji na riziku, a ne prvenstveno na naknadnim mjerama smanjenja rizika. Stoga je potrebno zajamčiti visoku razinu sigurnosti usklađenim djelovanjem na nacionalnoj i europskoj razini.

Sve države članice moraju dovršiti procjenu rizika infrastrukture 5G mreža na nacionalnoj razini. Na temelju te procjene trebale bi ažurirati postojeće sigurnosne zahtjeve za pružatelje mrežnih usluga i u njih uključiti uvjete za jamčenje sigurnosti javnih mreža, osobito u kontekstu dodjele prava na korištenje radijskih frekvencija u 5G pojasevima. Time bi se dobavljače i operatere trebalo čvršće obvezati na jamčenje sigurnosti mreža.

Procjenama rizika i mjerama na nacionalnoj razini trebalo bi obuhvatiti razne faktore rizika, kao što su tehnički rizici i rizici povezani s ponašanjem dobavljača ili operatera, među ostalim iz trećih zemalja. Procjene rizika na nacionalnoj razini temelj

su za izradu usklađene procjene rizika na razini EU-a. Osim toga, države članice EU-a imaju pravo radi zaštite nacionalne sigurnosti sa svojih tržišta isključiti društva koja ne poštuju njihove standarde i pravni okvir.

Na temelju te procjene države članice dogovorit će mjere za smanjenje utvrđenih sigurnosnih rizika primjenjive na nacionalnoj razini i na razini EU-e. Te mjere mogu primjerice obuhvaćati certifikacijske zahtjeve, testiranja, kontrole te identifikaciju potencijalno nesigurnih proizvoda ili dobavljača. Ta koordinirana suradnja trebala bi biti potpora djelovanju država članica na nacionalnoj razini i Komisiji pružiti smjernice za moguće daljnje korake na razini EU-e. Pored toga, države članice trebale bi izraditi posebne sigurnosne zahtjeve koji bi se mogli primjenjivati u kontekstu javne nabave povezane s 5G mrežama, uključujući obvezne zahtjeve za provedbu programa kibersigurnosne certifikacije [48].

4.3 Tehnološki izazovi kod uvođenja 5G mreže

Cijeli pojam 5G vrlo je opsežan, a obuhvaća mnogo stvari. Primjerice, postoji sam 5G protokol koji se može postaviti i na staru vrstu opreme, poboljšavajući rad ustaljene 4G mreže, ali to se onda ne može nazvati klasičnom petom generacijom mobilne mreže. Danas tako govorimo o jednakoj situaciji kao na prijelazu s 3G na 4G mrežu, jer je tek potrebno izgraditi i unaprijediti cjelokupnu infrastrukturu na razini države. Važno je kakva je vrsta veze do svakog odašiljača, jer u Republici Hrvatskoj optičke veze većinom postoje samo na odašiljačima u većim gradovima, gdje se ostvaruju velike brzine interneta, koje bi s 5G mrežom bile još veće, ali do problema dolazi u mnogim općinama i ruralnim sredinama, gdje nema optičkih kabela do svakog tornja, pa se ne može ostvariti ni približna brzina koja je potrebna za 5G mrežu.

Frekvencije odašiljanja rada u 5G mreži donose veće brzine prijenosa, što je njezina osnovna prednost, dok je glavni nedostatak mnogo manji domet mreže, koji nasuprot 4G mreže s dosegom do dva kilometra iznosi tek par stotina metara. Stoga

bi se za savršenu implementaciju 5G mreže trebali postaviti odašiljači gotovo na svakom raskrižju, na mnogim rasvjetnim stupovima i prometnim znakovima, do kojih se optički kabeli teško mogu dovesti.

Takva raširenost i iznimna blizina baznih stanica 5G mreže zabrinjavaju mnoge građane, koji strahuju od radijacije i mogućeg kancerogenog utjecaja te mobilne mreže, iako su radijaciji izloženi ponajviše od strane osobnih mobilnih telefona [49].

Osim cijena radiofrekvencijskog spektra (RF) i opreme, u investiciju za 5G ulaze i drugi troškovi, od iznajmljivanja lokacija za nove bazne postaje, prava puta, do onih vezanih s građenjem (komunalne, vodoprivredne i druge naknade), električne energije i drugih.

Na sve može utjecati i brzina gradnje, koja može biti usporena, ili čak i onemogućena neadekvatnim prostornim planiranjem, kao i odluka koju je donio Europski zakonik elektroničkih komunikacija prema kojoj je predviđena obveza za sve države članice da za postavljanje tzv. malih ćelija ne smiju tražiti nikakve posebne dozvole. Veliku ulogu u Republici Hrvatskoj u svemu tome ima HAKOM u dodjeli i kontroli RF spektra, ali i u poticanju razvoja, djelujući prema operaterima i svima koji mogu pomoći u izgradnji 5G mreža, kao i onima koji bi mogli biti prepreka tome, što posebice obuhvaća druga državna tijela i jedinice lokalne i regionalne samouprave [50].

Tehnologije pete generacije zahtijevaju znatno veću energetska učinkovitost svih elemenata u sustavu. Ograničenost raspoloživoga radiofrekvencijskog spektra rješava se licenciranim dijeljenjem pristupa spektru (eng. *LSA – Licensed Shared Access*) kao i sve širom primjenom tehnologija softverske rekonfiguracije [51].

Što se frekvencijskog spektra tiče, 5G mreže su razdijeljene u dvije skupine – onu s ispod 6 GHz i iznad te granice. Europska unija je u prvoj skupini prihvatila spektar od 700 MHz i 3,5 GHz, a u drugoj 26 GHz.

700 MHz frekvencija će se koristiti u ruralnim i manje naseljenim područjima, na otvorenim cestama i na moru, budući da dugi val, odnosno manja frekvencija, ima veći domet.

3,6 GHz spektar je namijenjen urbanim područjima gdje je veća gustoća korisnika, ali i mogućnost gušćeg postavljanja baznih stanica. Viša frekvencija ima kraći domet pri istoj izlaznoj snazi.

Sve frekvencije iznad 6 GHz, u našem slučaju 26, potrebne su za postizanje većih brzina prijenosa podataka i zbog svoje prirode imat će još kraći domet. Za pretpostaviti je da će ovakve bazne stanice biti postavljene na onim područjima gdje postoji iznimno velika koncentracija korisnika, kao i potreba za visokim brzinama.

EU je donijela vremenski plan uvođenja 5G tehnologije prema kojemu je planirano pokrivanje barem jednog većeg grada do kraja 2020. godine, neprekinuto 5G pokrivanje urbanih područja i glavnih zemaljskih transportnih putova do 2025. godine, omogućiti uporabu frekvencijskih pojaseva 3,6 GHz i 26 GHz za 5G do 31. prosinca 2020. godine, te 700 MHz obveza omogućavanja uporabe do 30. lipnja 2020.

Značajke RF spektra u frekvencijskom pojasu od 700 MHz omogućuju veće pokrivanje, što operaterima omogućuje izgradnju manjeg broja osnovnih (baznih) postaja, čime se ujedno smanjuju i troškovi ulaganja u izgradnju mreže, poboljšanje propusnosti mreže s većom mogućnosti pokrivanja ruralnih područja, što će se najviše odraziti na korisnike koji se nalaze na rubnom području pokrivanja, te stvaranje preduvjeta za pružanje novih usluga i tehnologija u tom radiofrekvencijskom spektru zbog harmonizirane uporabe na međunarodnoj razini.

Odlukom (EU) 2017/899 Europskog parlamenta i Vijeća od 17. svibnja 2017. o uporabi frekvencijskog pojasa 470-790 MHz u Uniji (SL L 138, 25. 5. 2017.) (u daljnjem tekstu: UHF Odluka) propisuje se dopuštanje uporabe frekvencijskog pojasa 700 MHz za bežične širokopojasne usluge elektroničkih komunikacija [80].

Na temelju UHF Odluke sve države članice Europske unije moraju dopustiti uporabu frekvencijskog pojasa 700 MHz za pružanje usluga bežičnih širokopojsnih elektroničkih komunikacija od 30. lipnja 2020. godine.

Ovu obvezu nemaju države članice koje nisu riješile sve koordinacijske postupke u pograničnim područjima s državama koje nisu članice Europske unije. Navedenu iznimku države članice mogu koristiti isključivo ako za to imaju opravdane razloge, koji mogu biti: neriješeni problemi pri prekograničnom usklađivanju koji za posljedicu imaju štetne smetnje, potreba osiguranja i složenost osiguravanja tehničkog prelaska velikog dijela stanovništva na napredne standarde radiodifuzijskog odašiljanja, financijski troškovi prelaska koji premašuju očekivani prihod od postupaka dodjele ili viša sila.

Uzimajući u obzir nacionalne specifičnosti postupka dodjele frekvencijskog pojasa 700 MHz za pružanje usluga bežičnih širokopojsnih elektroničkih komunikacija u Republici Hrvatskoj, kao krajnji rok do kojeg će se dopustiti uporaba frekvencijskog pojasa 700 MHz za pružanje usluga bežičnih širokopojsnih elektroničkih komunikacija, određen je 31. prosinca 2021. godine [79].

U Republici Hrvatskoj se planira oslobađanje i prenamjena 700 MHz: u kontinentalnom dijelu najkasnije do listopada 2020.g., a u priobalnom dijelu najkasnije do listopada 2021. godine. Frekvencijske pojaseve za 5G HAKOM planira dodijeliti na 15 godina uz mogućnost produljenja od najviše 5 godina. Za sva frekvencijska područja HAKOM planira propisati obvezu pokrivanja pojedinih transportnih pravaca određenom razinom 5G signala [52].

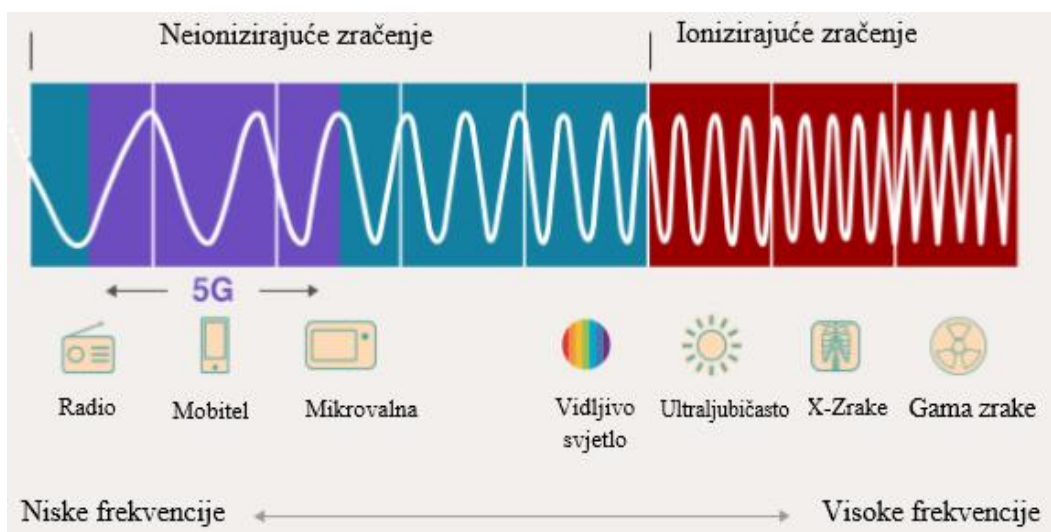
4.4 Utjecaj 5G mreže na zdravlje

U javnosti su se pojavile tvrdnje da 5G mreže, poglavito viši frekvencijski spektri, loše djeluju na žive organizme. Naime, u nekim medijima i po društvenim mrežama pojavila se poplava članaka i natpisa o štetnosti 5G mreža, no najveći dio takvih informacija u pravilu dolaze iz, najblaže rečeno, slabo poznatih izvora, a i ona

istraživanja koje potpisuju neki znanstvenici, za sada su na prilično klimavim nogama [53].

Kao najveći razlog zabrinutosti navodi se frekvencija na kojoj će 5G djelovati odnosno milimetarski radiovalovi.

Zračenje se dijeli na ionizirajuće i neionizirajuće zračenje, (slika 13). 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 prouzrokovati vibraciju stanica koja se osjeti kao toplina, ne ruši se struktura stanica i ne uzrokuje trajna šteta [54].



Slika 13: Prikaz ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja, [55]

Treba imati na umu da se frekvencije od 700 MHz i 3,6 GHz u osnovi nimalo ne razlikuju od frekvencija koje trenutno koristimo na 2G, 3G i 4G mrežama, pa zbog toga nema nikakve osnove tvrditi da njihove bazne stanice više zrače, tj., da su štetnije od postojećih. Nadalje, teorije o golemoj opasnosti viših frekvencija

elektromagnetskih valova po ljudsko zdravlje često su demantirani od drugih znanstvenih krugova, a određeni dokazi koji navodno postoje odnose se na one više od 100 GHz, što bi značilo da smo na svim frekvencijama ispod te granice prilično sigurni.

S druge strane, potpuno neodgovorno bi bilo tvrditi da nikakva opasnost ne postoji. Naime, dodavanjem još jednog „sloja“ infrastrukture, povećava se ukupna količina zračenja, jer ćemo, barem po gradovima, imati četiri generacije antena: 2G, 3G, 4G i 5G, a ne treba zanemariti ni kućni WiFi. Kad 5G jednom zaživi, za pretpostaviti je da će operateri postupno gasiti starije generacije, što se dijelom već i događa. Još prije desetak godina smo vidjeli da su u nekim područjima pune pokrivenosti 3G signalom počeli ukidati EDGE i GPRS, koji su dio 2G infrastrukture. Dakle, jedina objektivna i lako dokaziva opasnost od 5G mreža leži u povećanoj ukupnoj količini antena koje zrače, a ne u njima samima [53].

Oblik signala u petoj generaciji mobilnih sustava sličan je obliku signala iz 4G, ali isto tako sličan je signalima koji se rabe u WiFi-ju (bežičnoj lokalnoj mreži), digitalnoj zemaljskoj televiziji, digitalnom zemaljskom radiju. Svi ti sustavi rade na različitim frekvencijama (ili valnim duljinama), imaju različite snage, različite širine kanala. Znači ako usporedimo djelovanje 5G signala u odnosu na ono 4G signala iste razine i bliske frekvencije, ne možemo govoriti o povećanom riziku. Tehnologija 5G nije ništa opasnija od postojećih bežičnih komunikacijskih tehnologija uz istu razinu izloženosti.

5. PRAVNA REGULATIVA 5G MREŽE U EU I HRVATSKOJ

Prilikom planiranja novih pokretnih mreža i njihove infrastrukture potrebno je voditi računa o zakonodavnom okviru, odnosno o postojećoj telekomunikacijskog legislativi i standardizaciji.

Zakon o elektroničnim komunikacijama (ZEK, NN 73/08, 90/11, 133/12, 80/13, 71/14, 72/17), prihvaćen 22. srpnja 2017. godine, uvjetuje izgradnju mreža koje će omogućiti ravnopravne uvjete davanja i primanja usluga kako za operatere, tako i za korisnike. Zakonom se uspostavljaju prava i ovlasti Državnog regulatornog tijela – HAKOM-a (Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti) koji će sastaviti pravilnike i primjenjivati odgovarajuće mjere. Time su stvorene zakonske pretpostavke za liberalizaciju tržišta elektroničkih komunikacijskih mreža [84].

Navedenim se Zakonom regulira područje elektroničkih komunikacija. Prilikom ulaska Republike Hrvatske u Europsku uniju komunikacijska infrastruktura se planirala, gradila i održavala sukladno direktivama Europske unije. Primjerice, prilikom izgradnje zgrade investitor mora o svom trošku izraditi kabelsku kanalizaciju primjerenu namjeni i postaviti elektroničku komunikacijsku mrežu s pripadajućom aktivnom opremom. Uređuje se korištenje elektroničkih komunikacijskih mreža i pružanje elektroničkih komunikacijskih usluga, pružanje univerzalnih usluga te zaštita prava korisnika usluga. Također se propisuje način gradnje, postavljanje, održavanje i korištenje elektroničke komunikacijske infrastrukture i povezane opreme, uvjeti tržišnog natjecanja te prava i obveze sudionika na tržištu elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga. Osim toga regulira se adresiranje, numeriranje i upravljanje radiofrekvencijskim spektrom, digitalni radio i televizija, zaštita podataka i sigurnost elektroničkih komunikacija te obavljanje inspekcijskog i stručnog nadzora i kontrole u elektroničkim komunikacijama, kao i osnivanje nacionalnog regulatornog tijela za elektroničke komunikacije i poštanske usluge. Posebna se pažnja posvećuje uređenju njegovog ustrojstva, djelokruga i nadležnosti te postupka donošenja odluka i rješavanja sporova u elektroničkim komunikacijama.

Osnovna nadležnost HAKOM-a je reguliranje tržišta elektroničkih komunikacija i tržišta poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj. HAKOM također upravlja i obavlja nadzor nad upotrebom radiofrekvencijskog (u daljnjem tekstu: RF) spektra te adresnog i brojevnog prostora kao prirodno ograničenih općih dobara od interesa za RH [56].

Osim toga HAKOM prati i potiče razvoj mreža sljedeće generacije NGN pri čemu osobito brine o otvorenosti, neutralnosti te pristupnim tehnologijama i uslugama. Upravo je otvoren pristup glavni element za razvoj tržišta kao i za tehnološki razvoj mreža. Stoga će se u svrhu poticanja takvog pristupa voditi računa da poslovni modeli budu prilagođeni vertikalnoj, slojevitoj arhitekturi radi smanjenja potencijalnih diskriminacija u pružanju maloprodajnih usluga [57].

Osim poticanja infrastrukturne (mrežne) konkurencije, HAKOM potiče i razvoj komunikacijskih usluga i aplikacija davajući potpore u skladu s Programom razvoja interneta i širokopojasnog pristupa Internetu na područjima od posebne državne skrbi, brdsko - planinskim područjima i otocima [56].

Zakonom o elektroničkim komunikacijama koji je na snazi od 2017. godine donesene su opće odredbe. Zakon uređuje područje elektroničkih komunikacija [59]:

- korištenje elektroničkih komunikacijskih mreža i pružanje elektroničkih komunikacijskih usluga;
- zaštita prava korisnika usluga, gradnja, postavljanje, održavanje i korištenje elektroničke komunikacijske infrastrukture i povezane opreme;
- uvjeti tržišnog natjecanja te prava i obveze sudionika na tržištu elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga;
- djelotvorno upravljanje radiofrekvencijskim spektrom te adresnim i brojevnim prostorom;
- digitalni radio i televizija;
- zaštita podataka;

- sigurnost i cjelovitost elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga te obavljanje inspekcijskog nadzora i kontrole u elektroničkim komunikacijama, kao i,
- osnivanje nacionalnog regulatornog tijela za elektroničke komunikacije, poštanske usluge i željezničke usluge, njegovo ustrojstvo, djelokrug i nadležnosti, te postupak donošenja odluka i rješavanje sporova u elektroničkim komunikacijama.

Elektronička komunikacijska mreža i elektronička komunikacijska infrastruktura i povezana oprema mora se planirati, projektirati, proizvoditi, graditi, održavati i upotrebljavati u skladu s normama i tehničkim specifikacijama sadržanima u popisu obvezujućih norma i/ili tehničkih specifikacija, koji se objavljuje u Službenom listu Europske unije u skladu s mjerodavnom direktivom Europske unije [58].

Ako ne postoje odgovarajuće obvezujuće norme i/ili tehničke specifikacije, primjenjuju se norme i tehničke specifikacije Europskog instituta za telekomunikacijske norme (ETSI – eng. *European Telecommunications Standards Institute*), Europskog odbora za normizaciju (CEN – eng. *The European Committee for Standardization*) i Europskog odbora za elektrotehničku normizaciju (CENELEC – eng. *The European Committee for Electrotechnical Standardization*) te norme, odluke i preporuke Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU – eng. *International Telecommunication Union*), Međunarodne organizacije za normizaciju (ISO – eng. *International Organization for Standardization*), Međunarodnoga elektrotehničkog povjerenstva (IEC – eng. *International Electrotechnical Commission*) i Europske konferencije poštanskih i telekomunikacijskih uprava (CEPT – eng. *The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) [58].

5.1 Standardizacija novih tehnologija

Živimo u vremenu ubrzanoga tehnološkog razvoja u kojem primjena radijskih tehnologija zauzima sve značajnije mjesto u našim životima. Sustavi bežičnih komunikacija se eksponencijalno šire prema budućem potpuno povezanom i inteligentnom bežičnom svijetu. Komunikacijski sustavi moraju osigurati pristup s

različitim uređajima i na različitim platformama uz dinamičku uporabu potrebnoga radijskog spektra. Budući da je frekvencijski spektar ograničen resurs, razvijaju se nove tehnologije za njegovu učinkovitu uporabu. Primjena ovako složenih zahtjeva vodi procesu međusobnog povezivanja različitih mreža i sustava. Pri tome pravovremena i kvalitetna standardizacija predstavlja značajan uvjet za postizanje uspjeha na globalnom telekomunikacijskom tržištu.

Za svaku novu generaciju pokretnih mreža potrebno je pripremiti nove standarde kako bi ta nova tehnologija bila prepoznata i prihvaćena u svijetu.

Partnerski projekt treće generacije (3GPP) osnovan je 1998. godine u eri treće generacije pokretnih mreža (3G) kao standardno tijelo koje stoji iza Univerzalanog mobilnog telekomunikacijskog sustava (UMTS, eng. *Universal Mobile Telecommunications System*) sustava za razvijanje stabilnog i konzistentnog proizvodnog okruženja za svoje članove. Temeljna inicijativa bila je da 3GPP sastavi globalno upotrebljive tehničke specifikacije i tehničke izvještaje za mobilne uređaje treće generacije temeljene na jezgi GSM (eng. *Global System for Mobile communications*) mreže i radio pristupne tehnologije [60].

Glavni članovi su sedam organizacijskih partnera, koji su vladin institut, odbor ili udruga za telekomunikacijska pitanja koja dolaze iz Europe, Japana, Kine, Južne Koreje, SAD-a i Indije [61].

Otprilike u isto vrijeme osnovana je, druga grupa pod nazivom Projekt partnerstva treće generacije (3GPP2) na temelju IMT-2000 (eng. *International Mobile Telecommunications*) inicijative i predstavlja zajednički napor pet standardizacijskih organizacija za razvoj globalnih specifikacija za radio transmisijske tehnologije koje podržavaju ANSI/TIA/EIA-41 (globalni cdma2000 bazirani standard). Cilj 3GPP2 inicijative je razvijanje IP (eng. *Internet Protocol*) baziranih pokretnih sustava koji će imati mreža prema mreži međupovezivanje, globalni roaming i uslugu koja će biti neovisna o lokaciji. 3G je izraz koji je stvoren od strane svjetske zajednice da bi se naglasila nova generacija pokretnih usluga kao što su npr. veći kapacitet i bolja mrežna funkcionalost što omogućava naprednije usluge i aplikacije uključujući multimediju.

IMT-2000 (eng. *International Mobile Telecommunications-2000*) predstavlja ITU globalno koordiniranu definiciju 3G koja pokriva ključne točke kao što su upotreba frekvencijskog spektra i tehničkih standarda.

IMT-2000 sustavi trebaju pružiti podršku za [60]:

- veliki omjer transmisije podataka za unutarnja i vanjska djelovanja
- simetričnu i asimetričnu podatkovnu transmisiju
- usluge podataka prenesenih komutacijom paketa i usluge podataka prenesenih komutacijom kanala kao što su npr. IP promet i video u stvarnom vremenu
- kvalitetu glasa usporedivu s kvalitetom glasa unutar fiksne telefonije
- veći kapacitet i bolju iskoristivost spektra
- nekoliko istovremenih usluga za krajnje korisnike i terminale (multimedijalne usluge)
- svjetski roaming između različitih operativnih okruženja.

3GPP i 3GPP2 su konkurenti, a sudionici svake skupine pokušavaju ostvariti većinu profita od tržišta. Ovo poslovno natjecanje uključuje složene čimbenike kao što su patent, politika, globalni lanac opskrbe i još mnogo toga. Općenito, 3GPP sa svojim univerzalnim mobilnim telekomunikacijskim sustavom (UMTS) dominantan je u industriji treće generacije.

Srećom, potrošači širom svijeta mogu koristiti bežičnu mrežu s identičnim protokolima i iskustvom, jer i 3GPP i 3GPP2 moraju razviti specifikacije i standarde za sustav mobilnih telefona koji udovoljavaju zahtjevima ITU-ovih smjernica.

Sustav koji 3GPP koristi za upravljanje procesom standardizacije specifikacija naziva se izdanjima, koja pružaju programerima stabilnu platformu za implementaciju značajki u određenoj točki, a zatim omogućuju dodavanje nove funkcionalnosti u sljedećim izdanjima. Svako izdanje zapravo je skup standardnih dokumenata koje svi proizvođači moraju slijediti [61].

Prva radionica na temu evolucije 3G sustava održala se 2004. godine. 3GPP grupa je tad postavila polazišnu točku u razvoju LTE (engl. *Long Term Evolution*) tehnologije koji je postao jedan od vodećih standarda četvrte generacije. Sljedećih

nekoliko godina se raspravljalo o sustavu i njegovim specifikacijama te su provedena razna istraživanja i testovi. Krajem 2008. godine specifikacije su bile konačno određene. Velik broj mobilnih operatera bio je zainteresiran za LTE jer je predstavljao globalni telekomunikacijski standard [62].

Dvije su tehnologije podnesene Međunarodnoj uniji za telekomunikacije (ITU) kao održivi 4G kandidati: LTE i LTE Advanced. Standardizirane verzije ovih tehnologija najbliže ćemo doći do "pravog 4G" kako je definirano 4G.

5.2 Standardizacija 5G mreže

Primarna tijela za standarde 5G koja su uključena u ove procese su Projekt partnerstva treće generacije (3GPP), Internetska radna skupina (IETF) i Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU).

3GPP je međunarodno tijelo usmjereno na komunikacije koju čini sedam organizacija za razvoj telekomunikacijskih standarda koje se nazivaju "organizacijski partneri". Organizacija je zadužena za formuliranje 5G tehničkih specifikacija koje u konačnici postaju standardi.

Sredinom 2017. godine, skupine tehničkih specifikacija 3GPP dogovorile su detaljan plan rada za prvo izdanje 5G specifikacija. Plan rada uključivao je niz zadataka i kontrolnih točaka za vođenje tekućih 5G studija nove generacije arhitekture i 5G Novog radija (NR), s naglaskom na poboljšani mobilni širokopojasni pristup, ultra-pouzdanost i nisku latenciju, frekvencijski raspon i važnost kompatibilnosti u dizajnu radija i protokola.

IETF je tijelo za standarde koje se bavi ključnim specifikacijama za funkcije virtualizacije koje razvijaju IP protokole za podršku virtualizacije mreže. Na primjer, IETF je pionirsko uslužno lančano povezivanje (SFC), koje će virtualizirane komponente 5G arhitekture - poput bazne stanice, poslužitelja i pristupnika paketa podataka - povezati u jedan put. To će omogućiti dinamično stvaranje i povezivanje funkcija virtualne mreže (VNF-ovi).

Ostala nova tehnologija koju IETF razvija, uključuje testiranje povezano s usmjeravanjem, uključujući protokole za distribuirano umrežavanje, usmjeravanje segmenata i izračunavanje puta kako bi se zadovoljile ograničenja 5G NR. IETF surađuje s 3GPP-om na razvoju 5G-a, pokrivajući ne samo novu tehnologiju u okviru IETF-ovog razvoja, već i nove uporabe postojećih tehnologija.

ITU je organizacija Ujedinjenih naroda sa sjedištem u Ženevi, osnovana 1865. godine, usredotočena na informacijske i komunikacijske tehnologije. Koordinira globalno dijeljenje radijskog spektra. Obuhvaća cjelokupne aspekte radio sustava međunarodnih mobilnih telekomunikacija (IMT), uključujući 3G, 4G, 5G i buduće generacije bežične mobilne telekomunikacijske tehnologije. ITU igra vodeću ulogu u upravljanju radio-spektrom i razvoju globalno primjenjivih standarda za IMT-2020. Njegove aktivnosti podržavaju razvoj i primjenu međunarodnih propisa i standarda kako bi se osiguralo da su 5G mreže sigurne, interoperabilne i da djeluju bez uzrokovanja ili primanja štetnih smetnji.

U 2015. godini ITU je identificirao tri opsega spektra koji će se koristiti za 5G, a 2016. precizirao je kriterije za izbor tehnologija 5G radio sučelja. Krajem 2016. godine posebna fokusna skupina ITU-a zaključila je preliminarnu studiju standarda potrebnih za ispunjavanje ciljeva performansi 5G, uključujući koncentracije na mrežnu arhitekturu, fiksnu bežičnu konvergenciju, zahtjeve upravljanja mrežom i okvir za upravljanje mrežom [63].

Očekuje se da će se IMT-2020, naziv koji se u ITU koristi za standarde 5G, nastaviti razvijati od 2020. godine nadalje. Prve cjelovite komercijalne implementacije za 5G očekuju se negdje nakon finalizacije specifikacija IMT-2020.

Javno privatno partnerstvo za 5G infrastrukturu (5G PPP) zajednička je inicijativa Europske komisije i europske ICT industrije (proizvođači ICT, telekomunikacijski operateri, pružatelji usluga, mala i srednja poduzeća i istraživačke institucije). 5G-PPP sada je u trećoj fazi u kojoj su u lipnju 2018. pokrenuti mnogi novi projekti u Bruxellesu. 5G PPP isporučit će rješenja, arhitekture, tehnologije i standarde za sveprisutnu komunikacijsku infrastrukturu nove generacije u narednom desetljeću. Izazov za 5G javnoprivatno partnerstvo (5G PPP) jest osigurati europsko vodstvo u

određenim područjima u kojima je Europa jaka ili na kojima postoji potencijal za stvaranje novih tržišta poput pametnih gradova, e-zdravstva, inteligentnog prijevoza, obrazovanja ili zabave i mediji. Inicijativa 5G PPP ojačat će europsku industriju da se uspješno natječe na svjetskim tržištima i otvoriti nove mogućnosti za inovacije, [64].

Nacionalni i međunarodni propisi moraju se usvojiti i primjenjivati na globalnoj razini kako bi se stvorio održiv mobilni ekosustav za budućnost.

Zato je bilo važno da se dodatni spektar koji koristi 5G identificira i uskladi na globalnoj i regionalnoj razini. Iz sličnih razloga, radio tehnologije korištene u uređajima 5G moraju biti podržane globalno usklađenim standardima.

5.3 5G - Akcijski plan za Europu

Dvadeset i četiri godine nakon uspješnog uvođenja mobilnih mreža 2G (GSM) u Europi na vidiku je nova revolucija s novom generacijom mrežnih tehnologija poznatima pod nazivom 5G, kojima se otvaraju mogućnosti za nove digitalne gospodarske i poslovne modele. Tehnologije 5G još nisu u potpunosti standardizirane, no već se razvijaju i testiraju njihove glavne specifikacije i tehnološke sastavnice. Iako je ta preobrazba već započela na temelju postojećih mreža, potrebno je uvesti tehnologije 5G kako bi se dostigao njezin puni potencijal u nadolazećim godinama.

Europska komisija je 2013. godine uspostavila javno-privatno partnerstvo (5G-PPP) uz potporu od 700 milijuna EUR u obliku javnog financiranja kako bi se osiguralo da tehnologije 5G postanu dostupne u Europi do 2020. Međutim, da bi se osigurao vodeći položaj Europe u području tehnologija 5G nisu dovoljna samo istraživanja, već je potrebno uložiti dodatne napore kako bi tehnologije 5G i povezane usluge postale stvarnost, osobito u pogledu stvaranja europskog „domaćeg tržišta” za 5G.

Komisija ističe važnost mreža vrlo visokog kapaciteta kao što je 5G kao ključnu vrijednost za konkurentnost Europe na svjetskom tržištu. Na svjetskoj razini bi 2025. godine prihodi od tehnologija 5G trebali dostići protuvrijednost od 225 milijardi EUR,

dok bi koristi od uvođenja tehnologije 5G u četiri ključna sektora - automobilske, zdravstveni, prometni i energetske sektor mogle dostići iznos od 114 milijardi EUR godišnje. Predloženim Europskim zakonikom o elektroničkim komunikacijama podržat će se uvođenje i uporaba 5G mreža, osobito u pogledu dodijele frekvencijskog spektra, poticanja ulaganja i povoljnih okvirnih uvjeta, a nedavno donesenim pravilima o otvorenom internetu pruža se pravna sigurnost u pogledu uvođenja 5G aplikacija [65].

Za uvođenje komercijalnih 5G usluga bit će potrebna i znatna ulaganja, raspoloživost odgovarajućeg spektra i bliska suradnja aktera u telekomunikacijskom sektoru i ključnih korisničkih industrija. Mrežni operateri neće ulagati u novu infrastrukturu ako ne vide jasne izgleda za stabilnu potražnju i ako im se ne omoguće regulatorni uvjeti za isplativo ulaganje. Cilj je potaći ulaganja u 5G mreže i stvoriti nove inovativne ekosustave, čime bi se poboljšala europska konkurentnost, a građanima pružile konkretne koristi.

Komisija je utvrdila sljedeće ključne elemente akcijskog plana [65]:

- uskladiti planove i prioritete za koordinirano uvođenje tehnologija 5G u svim državama članicama EU-a, postaviti cilj uvođenja prve mreže do 2018. godine i prijelaz na komercijalno masovno uvođenje najkasnije do kraja 2020.
- staviti na raspolaganje privremene frekvencijske pojaseve za 5G prije Svjetske radiokomunikacijske konferencije 2019. godine (WRC-19) i u najbržem mogućem roku omogućiti dodatne pojaseve, te utvrditi preporučeni pristup za odobravanje posebnih frekvencijskih pojaseva za 5G iznad 6 GHz.
- promicati rano uvođenje u velikim gradskim područjima te uzduž glavnih prometnih pravaca - promicati paneuropske studije u kojima sudjeluje veći broj dionika, a na temelju kojih će se ubrzati pretvorba tehničkih inovacija u cjelovita poslovna rješenja
- olakšati provedbu fonda za rizične pothvate namijenjenog pružanju potpore inovacijama utemeljenima na tehnologijama 5G, pod vodstvom industrije

- ujediniti vodeće aktere u naporima za poticanje globalnih standarda.

Postupak uvođenja tehnologija 5G i ciljevi za Europu u pogledu povezivosti do 2025. godine utvrđeni u komunikaciji *Povezivošću do konkurentnog jedinstvenog digitalnog tržišta – na putu prema europskom gigabitnom društvu* stoga će ovisiti o općenitijem uvođenju mreža visokog kapaciteta u cijeloj Europi. Što se prije uvedu temeljne širokopojasne mreže, to će brže tehnologije 5G postati masovno dostupne.

Standardi su iznimno važni kako bi se osigurala konkurentnost i interoperabilnost globalnih telekomunikacijskih mreža. Komunikacijom *Prioriteti normizacije IKT-a za jedinstveno digitalno tržište* utvrđen je jasan smjer za poticanje izrade globalnih industrijskih standarda pod vodstvom EU-a za ključne tehnologije 5G (pristupna radijska mreža, osnovna mreža) i mrežne arhitekture. Navedeni su i konkretni izazovi koji su rezultat potrebne suradnje između raznih zajednica dionika s vrlo različitim praksama u pogledu standardizacije kako bi se omogućili inovativni slučajevi uporabe u ključnim industrijama.

U zadnje je vrijeme došlo do brzog napretka u planu međunarodne standardizacije tehnologija 5G. U prvoj je fazi predviđena rana raspoloživost standarda za iznimno brza mobilna širokopojasna rješenja. U drugoj je fazi potrebno brzo utvrditi standarde za ostale slučajeve uporabe, kao što su industrijske aplikacije, i prije svega staviti na raspolaganje standarde kojima se promiču otvorene inovacije i mogućnosti za novoosnovana poduzeća [65].

U mnogim bi okolnostima 5G mogla zahtijevati suradnju brojnih mrežnih pružatelja usluga, kako kod kuće, tako i u inozemstvu, pod različitim jurisdikcijama. U početku prekogranična dimenzija 5G tehnologije postavlja pitanje usklađivanja i suradnje prava EU-a i međunarodnog prava. Izvan ove svjetske tehničke osnove 5G, zakonodavstvo EU proširilo je teritorijalne granice privatnosti EU-a, jer se ne samo tvrtke i pojedinci u EU moraju pridržavati GDPR-a (Opća uredba o zaštiti podataka), već i subjekti i pojedinci koji nemaju sjedište u EU-u [85].

Budući da se diljem svijeta ulažu veliki istraživački naponi, od ključnog je značenja spriječiti pojavu neusklađenih standarda za 5G tehnologije u različitim regijama. Ako Europa želi pridonijeti postizanju globalnog konsenzusa u pogledu izbora tehnologija,

frekvencijskih pojasa i vodećih 5G aplikacija, potrebna je koordinacija na razini EU i prekogranično planiranje.

5.4 ENISA

ENISA (eng. *The European Union Agency for Cybersecurity*) je Agencija EU za kibernetičku sigurnost i radi na tome da osigura Europu od kibernetike. ENISA surađuje s EU-om, državama članicama, privatnim sektorom i građanima Europe, na razvoju savjeta i preporuka o dobroj praksi informacijske sigurnosti. Pomaže državama članicama EU-a u provedbi odgovarajućeg zakonodavstva EU-a i djeluje na poboljšanju otpornosti kritičnih europskih informacijskih infrastruktura i mreža. ENISA želi poboljšati postojeću stručnost u državama članicama EU-a podržavajući na taj način razvoj prekograničnih zajednica koje se zauzimaju za poboljšanje mrežne i informacijske sigurnosti u cijeloj EU. Od 2019. godine izrađuje sheme certificiranja za kiber sigurnost [77].

Izvješće o prijetnjama za 5G mreže je izrađeno na temelju preporuke Europske komisije 2019/534, 26. ožujka 2019.godine. Kibernetika sigurnost na 5G mrežama od kojih su države članice tražile da izvrše procjenu rizika 5G mrežne infrastrukture. U ovoj preporuci je Europska komisija zatražila od ENISA-e da pruži potporu državama članicama u ovoj vježbi tako što će pripremiti područje prijetnji pregledavanjem najkritičnijih aspekta tehnologije. Štoviše, u novoj ENISA Uredbi je izražena potreba za analizom postojećih i novih rizika. U skladu s ovom ulogom, ENISA Uredba predviđa da bi agencija trebala u suradnji s drugim članicama, i prema potrebi, sa statističkim tijelima prikupiti relevantne informacije. Navedeno je da bi ona trebala omogućiti učinkovito reagiranje na postojeće i nove mrežne i informacijske sigurnosne rizike i prijetnje. Dakle ENISA *5G Threat Landscape* izvješće želi pridonijeti strategiji kibernetičke sigurnosti EU i stalnim političkim inicijativama vezanim uz sigurnost mreža i informacijskih sustava. Pojednostavljuje i objedinjuje dostupne informacije o kibernetičkim prijetnjama i njihovoj evoluciji.

Na temelju imovine, prijetnji i stanja postojećeg razvoja ENISA daje sljedeće preporuke, odnosno načine djelovanja za različite dionike 5G ekosustava [77]:

- Dijeljenje postojećeg znanja o 5G zajednicama dionika – postojeći tehnički materijal treba širiti na razini EU.
- Promicanje mostova između svih dionika – u narednim godinama će biti važno potaknuti radne odnose sa svim relevantnim dionicima 5G s naglaskom na materijalu koji služi kao osnova za buduće prikupljanje znanja i širenja znanja u području analize 5G prijetnji
- Omogućiti potrebne iteracije za poboljšanje postojećeg materijala o kibernetičkim prijetnjama – zajedno sa angažiranim dionicima treba stvoriti sadržaj za planiranje buduće iteracije rada s procjenom prijetnji/rizika koje će izvoditi različiti dionici na razini EU-a.

6. IMPLEMENTACIJA 5G MREŽE U SVIJETU I HRVATSKOJ

Kad se implementiraju, 5G mreže trebale bi pružiti veću brzinu i kapacitet za podršku masovnoj komunikaciji stroj-stroj i pružanje usluge niske latencije (kašnjenja), visoke pouzdanosti za aplikacije. S tim ambicioznim ciljevima, 5G mreže suočavaju se s velikim izazovima. Povećani kapacitet i brzina podataka obećanih od 5G zahtijevaju više spektra i znatno spektralnije učinkovite tehnologije.

Očekuje se da će peta generacija mobilnih tehnologija povezati ljude, stvari, podatke, aplikacije, prometne sustave i gradove u pametnim mrežnim komunikacijskim okruženjima. Trebalo bi prenijeti ogromnu količinu podataka mnogo brže, pouzdano povezati izuzetno velik broj uređaja i obraditi vrlo velike količine podataka s minimalnim kašnjenjem. Nadalje, očekuje se da će 5G tehnologije podržavati aplikacije poput pametnih domova i zgrada, pametnih gradova, 3D videozapisa, rada i igranja u oblaku, udaljenih medicinskih usluga, virtualne i proširene stvarnosti te masivnih komunikacija stroj-stroj za automatizaciju industrije.

Stoga će pokrivanje određenog područja zahtijevati značajno povećani broj baznih stanica što će povećati složenost infrastrukture, uključujući potrebu za raspoređivanjem radio opreme na uličnim objektima, poput semafora, lampica, komunalnih stupova i napajanja [66].

6.1 5G u svijetu i EU

Prema DESI (eng. *The Digital Economy and Society Indeks*) istraživanju za 2019. godinu, koje provodi Europska komisija i koje prati evoluciju digitalne kompetitivnosti članica EU-a, tijekom prošle godine sve su zemlje EU-a poboljšale svoje digitalne performanse.

Globalni prihodi 5G tehnologije u 2025. godini procjenjuju se na 225 milijardi eura, stoga je ona ključna za konkurentnost Europe na globalnom tržištu. Od iznimne je važnosti da se 5G mreža jednako omogući u svim državama članicama EU-a, kako bi

sve imale jednaku mogućnost digitalnog napretka i time pridonijele globalnoj konkurentnosti EU-a kao cjeline [67].

Godina prvih pokretanja 5G-a na naprednim mobilnim tržištima (Australija, Austrija, Finska, Italija, Katar, Južna Koreja, Španjolska, Švicarska, Velika Britanija, SAD i još mnogo toga) bila je 2019. godina. Očekuje se da će 5G mobilne mreže biti dostupne u mnogim zemljama do 2020. godine. Na kraju 2025. g. IDATE DigiWorld predviđa 1,3 milijarde 5G priključaka, pet godina nakon globalnog pokretanja.

Prema [68], 5G je do travnja 2020. godine dostupna u više od 30 zemalja diljem svijeta što je prikazano u tablici 1. Iako je teško predvidjeti kada će svi imati pristup 5G, primjećuje se veliki zamah lansiranja 5G-a u prvoj godini i očekuje se da će sve više zemalja pokrenuti svoje 5G mreže u 2020. godini i nakon tog razdoblja.

Tablica 1: Dostupnost 5G mreže u svijetu (travanj 2020.)

Australia	Ireland	Norway	South Korea	Virgin Islands, U.S.
Austria	Italy	Oman	Spain	
Bahrain	Japan	Philippines	Switzerland	
Canada	Kuwait	Puerto Rico	Thailand	
China	Maldives	Qatar	Trinidad and Tobago	
Czech Republic	Monaco	Romania	United Arab Emirates	
Finland	Netherlands	Saudi Arabia	United Kingdom	
Germany	New Zealand	South Africa	United States of America	

Izvor: [68]

Britanski telekom EE je uslugu 5G uključio u svibnju 2019. godine u šest gradova, uključujući dijelove Londona, te Edinburga, Cardiffa, Belfasta, Birminghama i Manchestera. Plan telekoma je bio uspostaviti 5G povezanost u 45 britanskih

gradova do kraja 2019. godine. Do sada je 5G dostupna u 80 gradova Velike Britanije.

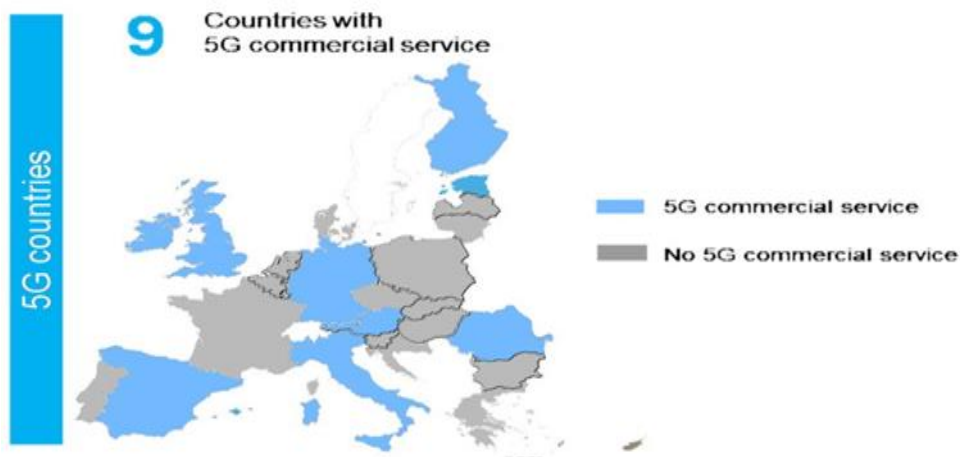
EE u uspostavi 5G usluge koristi New radio tehnologiju prilagođenu za korištenje kombinirane 4G i 5G mreže. U drugoj fazi od 2022. godine uvest će 5G jezgrenu mrežu, poboljšane mogućnosti čipseta uređaja i povećanu dostupnost 5G spektra. Treća faza, koja započinje 2023. godine, uvest će ultrapouzdanu komunikaciju s niskim kašnjenjem (URLLC), presijecanje mreže i brzine od nekoliko gigabita po sekundi [69].



Slika 14: Dostupnost 5G mreže u Velikoj Britaniji, [69]

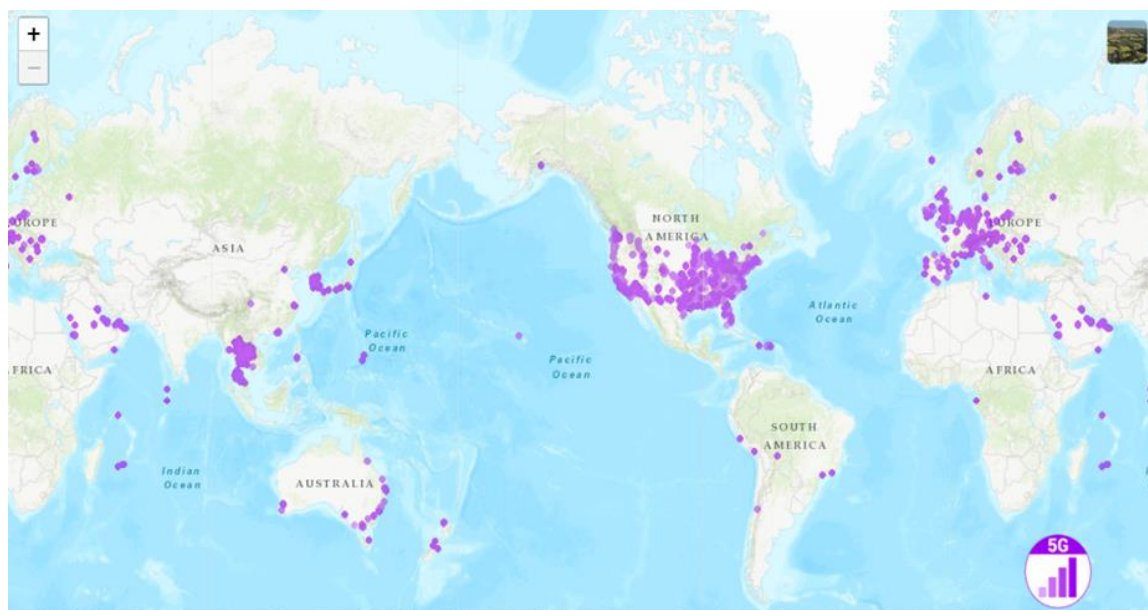
Pokretanje 5G komercijalne mreže telekom operatera Orange Romania u listopadu 2019. godine bilo je posljednje u Europi prošle godine čime je na Starom kontinentu aktivirano komercijalnih 5G mreža u 9 država članica Europske unije, objavio je 5Gobservatory. To znači da je u trećini članica Europske unije već aktivirana 5G mreža.

Velika Britanija je jedina država Europe u kojoj su svi telekomi uveli 5G mrežu. U 5 zemalja (Austrija, Njemačka, Irska, Italija, Rumunjska) 5G uveli su 2 ili više telekoma.



Slika 15: 5G mreža u EU, [70]

Prema [68], puni ekonomski učinak 5G će vjerojatno ostvariti diljem svijeta do 2035. godine - podržavajući širok raspon industrija i potencijalno omogućiti robu i usluge vrijedne do 13,2 biliona dolara. Taj je utjecaj mnogo veći od prethodnih mrežnih generacija.



Slika 16: Pokrivenost 5G mrežom u svijetu, [78]

Razvojni zahtjevi nove 5G mreže proširuju se i izvan tradicionalnih mobilnih mrežnih igrača na industrije poput automobilske industrije. Studija je također otkrila da 5G lanac vrijednosti (uključujući OEM proizvođače, operatere, tvorce sadržaja, programere aplikacija i potrošače) može sam podržati do 22,3 milijuna radnih mjesta ili više od jednog posla za svaku osobu u Pekingu u Kini. Samo će vrijeme pokazati koliki će biti puni „5G efekt“ na ekonomiju.

Postaje jasno da će upotreba 5G koštati mnogo više nego prethodne mobilne tehnologije (možda tri puta više) radi potrebe za gušćom pokrivenosti baznih stanica kako bi se osigurao očekivani kapacitet. Europska komisija procijenila je da će postizanje ciljeva povezivanja do 2025. godine koštati 500 milijardi eura, što uključuje 5G pokrivenost u svim urbanim područjima [81].

6.2 Potreba za 5G mrežom u ruralnim područjima

Godinama su ruralna područja imala nepouzdanu povezanost u usporedbi sa urbanim područjima. Prema britanskom regulatoru za komunikacije u UK Ofcom-u, najnoviji podaci govore da 9% Britanije, pretežno smještenih u ruralnim područjima, još uvijek ima loš pristup 4G.

Odjel za digitalnu kulturu, medije i sport (eng. *DCMS*) identificira ograničenja visine antena na tornjevima, stavljajući prioritet na zaštitu okoliša nad infrastrukturom, veće troškove operatera mobilne mreže i niži povrat ulaganja zbog manje gustoće stanovništva, kao ključne razloge za slabu pokrivenost ruralnih područja.

Kao što *DCMS* ističe, velik dio društveno-ekonomske aktivnosti u Velikoj Britaniji odvija se na mreži. Stoga bi ostavljanje ruralnih područja bez dostupnih mreža moglo ugroziti ekonomski rast i socijalnu mobilnost.

Čini se da se komercijalno gledano ruralna pokrivenost 5G nalazi na začelju. No, kao što svjedoči financiranje *DCMS*-a posljednjih godina, izgleda da je to sve veći prioritet vlade.

Na primjer, Cisco 5G RuralFirst projekt stvorio je testne ploče za 5G na tri udaljena mjesta. Projekt je istraživao brojne 5G strategije, uključujući 5G jezgenu oblačnu jezgru, dinamičko dijeljenje spektra, 5G radio pristupnu tehnologiju, poljoprivredno - tehnološki, emitirani i industrijski internet stvari.

Vlada je također pomogla financirati pokus Quickline Communications na 5G tehnologiji u nizu ruralnih aplikacija, uključujući pametnu poljoprivredu, turizam i povezivanje slabo opsluženih zajednica, koristeći zajednički spektar i kombinaciju lokalnih davatelja internetskih usluga. Uspostavljanje tekućeg projekta 5G ruralno povezanih zajednica pokazuje cilj DCMS-a da nastavi unapređenje pokrivenosti 5G ruralnim područjima [71].

Prema Federalnoj komisiji za komunikacije (eng. *FCC*), 80% od 24 milijuna kućanstava u Sjedinjenim Državama kojima nedostaje pouzdan širokopojasni internet nalazi se u ruralnim područjima. Zagovornici kažu da bi 5G mogao napraviti veliku razliku u tim zajednicama, ali postoje upozorenja da bi instaliranje potrebne infrastrukture moglo koštati previše i ne osigurati dovoljno dobar povrat ulaganja, s obzirom na relativni nedostatak kupaca u području usluga [72].

S tehničkog stajališta, raspon radijskih frekvencija koji su planirani za implementaciju brzine prijenosa podataka od 5G nalaze se u milimetarskim valovima (eng. *mmWave*). *mmWave* radio valovi imaju svojstvenu fizičku karakteristiku da ne putuju na velike udaljenosti niti se savijaju oko uglova ili prolaze kroz prepreke. Ova svojstva zahtijevaju da se stanična mjesta (kule s baznim stanicama) u 5G mreži postave mnogo bliže jedna drugoj u odnosu na 4G i prethodne generacije bežičnih sustava. Na primjer, tipično mjesto stanice u mreži 5G imalo bi raspon od 500 stopa - ovo je suprotno rasponu od 1200 stopa u 4G mreži. Stoga, vrlo temeljna tehnologija u 5G koja čini isplativu za gusto naseljena područja čini je vrlo skupom za implementaciju u ruralnim područjima.

S druge strane, znatno veća propusnost koju nudi 5G omogućava krajnjim korisnicima u ruralnim područjima uživati brzu internetsku povezanost sličnu

gradskim ili prigradskim područjima. Jedan izvediv pristup mogao biti korištenje naslijeđenih nižih radiofrekvencija (isto kao 4G frekvencije) za 5G ruralne implementacije. To jednostavno znači da visoke brzine prijenosa podataka 5G neće biti ostvarive ovim pristupom implementacije. To je težak čin uravnoteženja između pružanja visoke brzine prijenosa rijetko naseljenim područjima i održavanja niske cijene infrastrukture. Najvjerojatnije će 4G mreže provoditi većinu prometa [71].

Pored tih visokotehnoloških prilika, 5G također može povećati postojeća radna mjesta u ruralnim područjima, posebno u poljoprivredi. Tehnologija može učiniti poljoprivredni proces učinkovitijim i omogućiti brži prijenos podataka radi pružanja informacija o vremenu, usjevima i slično, pomažući poljoprivrednicima da razumiju više o njihovom poslovanju i pomoći da zarade više od svojih prinosa [72].

Dovođenje 5G širokopojasne mreže na područja izvan gusto naseljenih područja znači potrebu za velikim svotama novca. Primjerice, predsjednik FCC-a najavio je namjeru stvaranja Fonda za ruralne digitalne prilike koji će u narednom desetljeću unijeti 20,4 milijarde dolara u širokopojasne mreže velike brzine u ruralnoj Americi [71].

6.3 5G mreža u Hrvatskoj

Prema posljednjem izvještaju DESI 2020 (eng. *Digital Economy and Society Index 2020*), objavljenom 11. lipnja, uz standardnih pet kategorija mjerenja napretka članica Europske unije u digitalizaciji dodani su i tematski dijelovi koji se odnose na primjenu novih tehnologija (blockchain, umjetna inteligencija...), istraživanje i razvoj digitalnih tehnologija, sudjelovanje u projektima Horizon 2020 i drugi. Među promatranim kriterijima je i spremnost članica EU za primjenu 5G tehnologije. Republika Hrvatska je po toj spremnosti među daleko najlošijim članicama.

Hrvatska je ostvarila rezultat od 0% na pokazatelju spremnosti za 5G. Pokazatelj spremnosti spektra za 5G temelji se na već dodijeljenoj i dostupnoj količini spektra za 5G mrežu do 2020. godine unutar „pionirskih” 5G pojaseva u svakoj državi članici EU-a. Za pojas 3,4 – 3,8 GHz to znači da se samo dozvole usklađene s tehničkim

uvjetima iz Priloga Odluci Europske komisije (EU) 2019/235 smatraju spremnima za 5G mrežu. Za pojas 26 GHz u obzir se uzimaju samo dodjele usklađene s tehničkim uvjetima iz Priloga Provedbenoj odluci Europske komisije (EU) 2019/784. Nasuprot tome, postotak usklađenog spektra obuhvaća sve dodjele u svim usklađenim pojasevima za sve usluge elektroničkih komunikacija (uključujući „pionirske” 5G pojaseve), čak i ako to ne ispunjava uvjete pokazatelja spremnosti za 5G.

Izazovi vezani uz dodjelu frekvencijskog pojasa 700 MHz operatorima mreža pokretnih komunikacija dio su izazova vezanih uz uvođenje 5G tehnologije u Republici Hrvatskoj, te je nužan sustavan pristup kako bi uvođenje ove tehnologije u konačnici bilo uspješno. Stoga je Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM) osnovala posebnu Radnu skupinu za 5G, u okviru koje se raspravlja o uklanjanju prepreka za uvođenje 5G tehnologije te pripremaju nacrti strateških dokumenata koji će to omogućiti. Jedna od temeljnih zadaća Radne skupine za 5G je ostvarivanje suradnje svih zainteresiranih strana kako bi se tehnološke promjene provodile na dobrobit društva u cjelini [79].

Republika Hrvatska, naime, još nema posebnu sveobuhvatnu strategiju za uvođenje 5G mreže, koja je preduvjet za buduće postupke dodjele. Nacrt nacionalnog plana djelovanja s detaljnim koracima za dopuštanje upotrebe frekvencijskog pojasa 700 MHz za bežični širokopojasni pristup do 30. lipnja 2020. godine uputila je na javno savjetovanje nakon što je već kasnila s donošenjem tog plana. Plan djelovanja naposljetku je donesen u svibnju 2020. godine.

Postojeća prava upotrebe u donjem dijelu pojasa vrijede i nakon 31. prosinca 2020. godine, ali Hrvatska ne planira prenamijeniti taj donji dio frekvencijskog pojasa. U postojećem nacrtu plana djelovanja nema planova za dražbu prije druge polovine 2020. godine. Stoga cijeli pojas neće biti dostupan u cijeloj zemlji u roku, odnosno do 30. lipnja 2020. Sva tri mobilna operatora (HT, A1 i Tele2) na dražbi su stekla prava na upotrebu frekvencije za dva bloka širine 20 MHz u pojasu 2,6 GHz [73].

Indeks spremnosti Europe za 5G pokazuje da se Republika Hrvatska od 38 zemalja obuhvaćenih istraživanjem našla na niskom 31. mjestu. U EU je od nas lošija jedino Bugarska, a najbolja je Finska. Najslabija nam je točka regulacija i politike, po čemu smo najlošiji u EU, što znači da manjak financiranja istraživanja u 5G tehnologiji zapravo priječi tehnološki razvoj na koji su ICT tvrtke spremne.

Na nedavno objavljenoj Svjetskoj ljestvici digitalne konkurentnosti Republika Hrvatska je pala za sedam mjesta, pa smo trenutačno na 63. mjestu u svijetu, a u dijelu koji se tiče primjene ICT-ja na 60. smo mjestu, što je također pad u odnosu na prošlogodišnje rezultate. Na posljednjem smo mjestu u EU po ukupnoj digitalnoj dostupnosti usluga javne uprave. Hrvatska zaostaje i u produktivnosti i trenutačno je na samo 65 posto europskog prosjeka. Manjak investicija privatnog sektora i mala produktivnost glavne su zapreke gospodarskog rasta. Da bismo to promijenili, jedan od preduvjeta jest i razvoj 5G tehnologije, koja je i jedan od najvećih pokretača investicijskog ciklusa jer operateri će ulagati u razvoj infrastrukture, a korporativni sektor u alate za digitalizaciju. Uz to, 5G infrastruktura vrlo je važna za razvoj startup-zajednice i novih poduzetničkih pothvata [74].

Uloga HAKOM-a kao državne regulatorne agencije za elektroničke komunikacije jest da osigura radijske frekvencije i dodijeli ih domaćim mobilnim operaterima kako bi oni mogli građanima i drugim korisnicima ponuditi 5G usluge. Iako će Hrvatska u 5G eru zakoračiti već u narednim godinama, valja naglasiti kako će se 5G najprije implementirati u većim gradovima i razvijenijim mjestima, dok će za čitavu pokrivenost Republike Hrvatske trebati pričekati 5 i više godina.

Prva testiranja 5G mreže započela su još prije nekoliko godina, a dio testiranja obavljen je i na teritoriju Republike Hrvatske. Nova 5G tehnologija sa sobom donosi nove pametnije antene koje će se prilagođavati potrebama korisnika. Kad govorimo o uvođenju 5G infrastrukture, važno je naglasiti da će se u početku samo nadograđivati postojeći sustav, što znači da neće biti izgradnje novih stanica. Ipak, ako se to u budućnosti pokaže potrebnim, gradit će se i neke nove stanice kako bi se pokrilo što više prostora kvalitetnim signalom. Ono što korisnici uglavnom zanemaruju je

činjenica da će uvođenje 5G mreže značiti i postepeno gašenje 2G i 3G tehnologije. Trenutno u Hrvatskoj imamo problem što se frekvencijski pojasevi određeni za 5G u nekim dijelovima zemlje već koriste, a u potpunosti bi trebali biti oslobođeni 2020. godine. Dakle, u nekim će dijelovima implementacija 5G opreme na frekvencijskim pojasevima od 700 MHz i 3.6 GHz kasniti, dok je pojas od 26 GHz u potpunosti slobodan. Ipak, taj frekvencijski pojas slabo prodire kroz prepreke (iako može postizati velike brzine) pa će njegova implementacija doći u kasnijem periodu [75].

Početkom 2018. godine Hrvatski Telekom pokrenuo je modernizaciju radijske pristupne mreže. Ta će mreža omogućiti uvođenje 5G tehnologije u trenutku kad se za nju dodijeli potrebni radio-frekvencijski spektar. Projekt obuhvaća modernizaciju infrastrukture, transportnih kapaciteta i same radijske opreme koja je do sada obavljena na području čitave Istra i u Zagrebu. Prvu baznu stanicu koja je spremna za 5G tehnologiju nalazi se u zapadnom dijelu Zagreba. Ona se bazira na SRAN (eng. *Single RAN*) konceptu, kojim se osigurava koegzistencija 2G, 3G, 4G i 5G na istoj opremi, što omogućuje trenutno udvostručenje kapaciteta 4G mreže i najnovije funkcionalnosti poput IoT-a. Napravljen je značajan iskorak uvođenjem LTE Advanced PRO inačice 4G-a, koja omogućava postupnu prenamjenu dostupnog spektra za 4G, istovremeno koristeći najsuvremenije 5G algoritme poput 4x4 MIMO, kombiniranja četiri frekvencijska bloka i najviših modulacijskih shema, osiguravajući propusnosti do 830Mbps, na silaznoj podatkovnoj 4G vezi.

Ovim aktivnostima HT osigurava spremnost 5G nove radijske tehnologije, koja je temelj za sljedeću generaciju komunikacijskih mreža koja podrazumijeva cijeli „eko-sustav“. 5G sustav će transformirati živote ljudi, poslovanje i društvo u cjelini isporukom (mobilnog) širokopojasnog pristupa ekstremnih brzina, robusne povezanosti sa niskom latencijom te umrežavanjem milijuna uređaja u masivni Internet stvari (eng. *Massive IoT*) [76].



Slika 17: Prikaz antene za 5G mrežu na tornju HT-a, [76]

U Republici Hrvatskoj je trenutno 5G u testnoj fazi. Testiraju se njene funkcionalnosti u frekvencijskom pojasu 3,6 GHz. Za ova testiranja su HT, A1 i Tele2 zatražili privremene dozvole, koje im je izdao HAKOM. Dozvole mogu koristiti npr. za potrebe tehničkog ispitivanja 5G tehnologije na područjima Grada Zagreba, uključujući područje Grada Samobora, Grada Svete Nedelje te zračne luke Franjo Tuđman, kao i Grada Osijeka, Grada Rijeke, Grada Splita, Grada Dubrovnika, Grada Hvara, Grada Novalje, Grada Jastrebarskog, Grada Raba i Grada Bjelovara, te naposljetku otoka Krka.

Prije nego krenu raditi bilo koje bazne postaje, prethodno navedeni operateri su dužni prijaviti sve tehničke parametre koji se provjeravaju i utvrđuje se da li bazna postaja radi u skladu s propisima. HAKOM je taj koji uvijek provjerava usklađenost baznih postaja s dopuštenim razinama elektromagnetskih polja propisanim pravilnikom Ministarstva zdravstva. Ukoliko u postupku provjere pojedine bazne postaje postoji sumnja da te razine nisu u skladu s onima koje su zakonom dopuštene, HAKOM za tu postaju provodi dodatna kontrolna mjerenja na terenu, s

obzirom na to da niti jedna bazna postaja ne smije raditi ako se time prekoračuju
dozvoljene razine.

7. ZAKLJUČAK

Ono što se definitivno može zaključiti temeljem ovog rada je da će od pete generacije telekomunikacijskih mreža biti velika očekivanja u svim pogledima. Pretpostavlja se da će 5G imati ključnu ulogu u razvoj europskog društva i gospodarstva. 5G će utjecati na sve aspekte života građana, pružanjem znatne gospodarske mogućnosti. Ona je temelj digitalne transformacije za brojna područja kao što su promet, proizvodnja, poljoprivreda, zdravstvo, mediji i energetika. S obzirom na promjene koje 5G donosi vrlo je bitno osigurati njihovu sigurnost i otpornost na različite prijetnje i napade prvenstveno radi očuvanja integriteta mreže.

Iako još uvijek nema konačne verzije arhitekture 5G mreže, opće je poznato da će se ona uvelike promijeniti u odnosu na arhitekture prethodnih generacija, a sve to s ciljem da se postignu željene performanse, kao što su manje vrijeme kašnjenja i pouzdanost. Naravno, kao i svaka arhitektura i arhitektura 5G mreže ima svoje prednosti i nedostatke. Peta generacija mobilne mreže će biti od velikog značaja kod korištenja usluga kao što su npr. e-zdravstvo, auto industrija, Internet stvari, Internet svega i sl., s obzirom na to da bi trebala pojednostaviti ljudima život. Tako bi mnoge obaveze zbog kojih se mora odvojiti vrijeme, kao što je npr. odlazak u medicinsku ustanovu kako bi se naručili za pregled, bile nadohvat ruke i sve bi se moglo riješiti preko aplikacije bez potrebe za odlaskom bilo gdje. To je velika prednost jer se na taj način omogućuje rješavanje raznih obaveza bilo kada i bilo gdje preko aplikacije, što je do sada bilo potrebno i moguće rješavati jedino fizičkom prisutnošću.

Nekoliko je sigurnosnih mehanizama koji su vrlo bitni da bi ljudi uopće stekli povjerenje u korištenje 5G mreže, te da bi koristili sve njezine mogućnosti u potpunosti, a koji su u radu navedeni i objašnjeni. Tehnološke promjene koje su uvedene 5G tehnologijom povećat će sveukupnu površinu napada i broj potencijalnih ulaznih točaka za napadače. Prema tome vrlo je važno raditi na pronalasku rješenja za probleme koji predstoje. Iako postoje razne studije, te svaka daje drugačije rezultate, ona najvažnija koja se odnosi na Svjetsku zdravstvenu organizaciju tvrdi da

peta generacija mobilne mreže nema štetan utjecaj na zdravlje, te ju je uvrstila u skupinu gdje su ispušni plinovi iz automobila ili ukiseljeno povrće. Mnogi ljudi vjeruju da 5G uzrokuje rak, te da će to biti dokazano kroz nekoliko desetljeća. No, zasada ipak nema nikakvih dokaza da je peta generacija mobilne mreže štetnija za zdravlje od prethodnih generacija.

S obzirom na to da su mreže danas otvorenije nego prije i jedna najmanja slabost utječe na integritet cijelog sustava. Postoji niz posljedica otvorenosti mreže, a neke od njih su rast neželjene pošte, virusa, softvera za špijuniranje i drugih oblika zlonamjernih softvera. Oni narušavaju povjerenje korisnika u elektroničke komunikacije što nije poželjno. Da bi osigurala sigurnost ove kritične infrastrukture i zaštitila privatnost građana, EU je poduzela nekoliko mjera koje su u radu prethodno navedene. HAKOM je regulatorno tijelo koje provodi pravnu regulativu u Republici Hrvatskoj, te koje daje ili ne daje zeleno svjetlo za bilo kakvu promjenu kada je u pitanju peta generacija mobilne mreže. Bez njihova pristanka i potrebnih dozvola ni operateri ne smiju napraviti nikakvu promjenu, u suprotnom mogu biti kažnjeni. ENISA je regulatorno tijelo koje dirigira Europskom Unijom, i kao takva ima isto djelovanje i učinak kao i HAKOM.

Za implementaciju pete generacije mobilnih mreža, kako u Republici Hrvatskoj, tako i u svijetu, potrebno je testiranje iste. Razni operateri u raznim zemljama širom svijeta žele da baš oni budu prvi koji će uvesti 5G, no brojna testiranja su neophodna. Na posljetku, kada testiranja budu obavljena, mreža se ne može pustiti u promet dokle god to ne bude odobreno od strane regulatornog tijela. U mnogim zemljama je vrlo brzo započela komercijalna uporaba 5G mreže, te su operateri već privukli veliki broj pretplatnika. U Hrvatskoj je ove godine donešena odluka o tome u kojem će gradu biti najprije testirana 5G mreža, te su operateri počeli s testiranjem. HT prednjači u tome, jer su već u jako malom vremenskom roku uspjeli zamijeniti stare bazne stanice sa novim baznim stanicama koje su potrebne za rad 5G mreže.

LITERATURA

- [1] Pokretne mreže. Preuzeto sa: https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_2_2003/pokretne_mreze.htm, (pristupljeno: svibanj 2020)
- [2] B. Županić, M. Gadže, A. Janković: Od analognih do digitalnih sustava pokretne telefonije, Ericsson Nikola Tesla, Revija 17, str. 28 – 43, 2004.
- [3] C. S. Patil, R. R. Karte, Maher, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering: Development of Mobile Technology: A Survey, Vol. 1, str. 374-379, studeni 2012.
- [4] CARNET, Sigurnost mobilnih mreža. Preuzeto sa: <https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [5] B. Burazer: Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije, Hrvatski zavod za norme, 2014
- [6] Quality of service. Preuzeto sa: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/quality-of-service-/index.html>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [7] Blajić, T.: LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup, Zagreb, 2010.
- [8] Standardi mobilnih mreža. Preuzeto sa: <https://itbase.ba/vijesti/1211/standardi-mobilnih-mreza-2g-3g-4glte-5g>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [9] 5G-PPP:5G Vision. Preuzeto sa: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochurev1.pdf>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [10] Dongfeng Fang, Yi Qian, Rose Qingyang Hu, „Security for 5G Mobile Wireless Networks“, IEEE, August 2017., Figure 15., str. 18.
- [11] Dongfeng Fang, Yi Qian, Rose Qingyang Hu, „Security for 5G Mobile Wireless Networks“, IEEE, August 2017., str. 17.
- [12] 5G NR New Radio. Preuzeto sa: <https://www.electronicnotes.com/articles/connectivity/5gmobile-wireless-cellular/5g-nr-new-radio.php>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [13] What is massive mimo. Preuzeto sa: <https://www.cbronline.com/answer/what-is-massive-mimo>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [14] Cheng-Xiang Wang (2014): Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks, str. 124

- [15] Energy and spectrum optimization for 5G massive mimo. Preuzeto sa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-019-06179-3>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [16] Massive (Very Large) MIMO Systems. Preuzeto sa: <https://massivemimo.eu/>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [17] A. Gupta, R. K. Jha: Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies, IEEE Access, Vol. 3, str. 1206 – 1232
- [18] Prostorno multipleksiranje. Preuzeto sa: <https://cetvrto4.files.wordpress.com/2010/10/multipleksiranje.ppt>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [19] What is mmWave and how does it fit into 5G? Phillip Tracy, Preuzeto sa: <https://www.rcrwireless.com/20160815/fundamentals/mmwave-5g-tag31-tag99>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [20] Prasad, R: 5G:2020 and beyond, River Publishers, Aalborg, 2014.
- [21] Understanding 5G perspectives on future technological advancements in mobile. Preuzeto sa: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2015/01/Understanding-5G-Perspectives-on-future-technological-advancements-in-mobile.pdf>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [22] How 5G works. Preuzeto sa: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [23] 5G NextGen Core Network. Preuzeto sa: <https://www.electronicsnotes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/5g-ng-nextgen-core-network.php>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [24] M. Agiwal, A. Roy, N. Saxena: Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. PP, str. 1-40
- [25] Robert W. Heath Jr., „Heterogeneous Networks“, University of Texas at Austin. Preuzeto sa: <http://www.profheath.org/research/heterogeneous-networks/>, (Pristupljeno: svibanj 2020)

- [26] Heterogene mobilne mreže. Preuzeto sa: <http://telekomsvet.blogspot.com/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html>, (Pristupljeno: svibanj 2020.)
- [27] 5G explained. Preuzeto sa: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [28] Rodriguez,J: Fundamentals of 5G mobile networks, John Wiley & Sons, West Sussex, The UK
- [29] Ubiquitous 5G experiences small cells. Preuzeto sa: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2018/10/15/ubiquitous-5g-experiences-small-cells>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [30] Theodore S. Rappaport (2013.): Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!, Preuzeto sa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6515173>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [31] 5G Small cells basics and types. Preuzeto sa: <https://www.rfwirelessworld.com/Terminology/5G-Small-Cells-Basics-and-Types.html>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [32] 5G spectrum sharing brings new innovations. Preuzeto sa: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/11/17/5g-spectrum-sharing-brings-new-innovations>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [33] Spectrum sharing positions. Preuzeto sa: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2018/11/Spectrum-Sharing-Positions.pdf>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [34] 5G plan. Preuzeto sa: <https://www.ericsson.hr/20180126-5g-plan>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [35] Ubrzani razvoj 5G mreža. Preuzeto sa: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/ubrzani-razvoj-5g-mreza>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [36] Europska komisija. Preuzeto sa: https://ec.europa.eu/croatia/How_IoT_is_helping_and_changing_our_everyday_life_hr, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [37] Četiri vrste primjena interneta stvari. Preuzeto sa: <https://mreza.bug.hr/cetiri-vrste-primjena-interneta-stvari/>, (Pristupljeno: svibanj 2020)

- [38] 5G unlocks a world of opportunities. Preuzeto sa: <https://www-file.huawei.com/-/media/corporate/pdf/mbb/5g-unlocks-a-world-of-opportunities-v5.pdf?la=en>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [39] Internet of things. Preuzeto sa: <https://www.scientechworld.com/internet-of-things/iot-solutions/iot-builder>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [40] 5G mreža tehnologija koja mijenja svijet. Preuzeto sa: <https://robokids.xyz/5g-mreza-tehnologija-koja-mijenja-svijet/>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [41] Autonomna vozila nisu tako daleka budućnost. Preuzeto sa: <https://mreza.bug.hr/autonomna-vozila-nisu-tako-daleka-buducnost/>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [42] Inovacija IOT u zdravstvu. Preuzeto sa: <https://www.ictbusiness.info/kolumne/inovacija-iot-u-zdravstvu>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [43] EU paket mjera za sigurnost 5G mreže, Preuzeto sa: <https://mreza.bug.hr/eu-paket-mjera-za-sigurnost-5g-mreza/>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [44] Dongfeng Fang, Yi Qian, Rose Qingyang Hu, „Security for 5G Mobile Wireless Networks“, IEEE, August 2017., str. 5 - 6.
- [45] CERT: Sigurnosna politika. Preuzeto sa: <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2009/05/CCERT-PUBDOC-2009-05-265.pdf>, (Pristupljeno: svibanj 2020)
- [46] Antoliš, K.,: Sigurnost informacijskih sustava : priručnik. Zagreb : Algebra, 2010
- [47] Brnetić, Damir i dr.: Kaznenopravno-forenzička zaštita kritične nacionalne infrastrukture od informatičkih (cyber) ugroza, Zagreb, 2013.
- [48] Europska komisija: Sigurno uvođenje 5G mreže u EU. Preuzeto sa: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2020/HR/COM-2020-50-F1-HR-MAIN-PART-1.PDF> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [49] Turković, Dok se ne prilagodi infrastruktura očekuju nas samo neke 5G točke s malim dometom. Preuzeto sa: <http://www.glas-slavonije.hr/399307/1/Turkovic-Dok-se-ne-prilagodi-infrastruktura-ocekiju-nas-samo-neke-5G-tocke-s-malim-dometom>, (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [50] Operateri u Hrvatskoj spremni za 5G. Preuzeto sa: <https://www.novolist.hr/ostalo/sci-tech/tehnologija/operatori-u-hrvatskoj-spremni-za->

[5g-kad-ce-doci-do-komercijalnog-uvodenja/?meža_refresh=true](#), (Pristupljeno: lipanj 2020)

[51] Burazer B.: Nove tehnologije i normizacija u telekomunikacijama, Hrvatski zavod za norme, 2017

[52] Hakom: Dodjela RF spektra za 5G u RH, 2019

[53] Što je 5G mreža i nosi li sa sobom rizike po zdravlje čovjeka. Preuzeto sa: <https://mob.hr/sto-je-5g-mreza-i-nosi-li-sa-sobom-rizike-po-zdravlje-covjeka/>, (Pristupljeno: lipanj 2020)

[54] Is 5G safe? Preuzeto sa: <https://mediacentre.vodafone.co.uk/5g/is-5g-safe/>, (Pristupljeno: lipanj 2020)

[55] Does 5G pose health risks? Preuzeto sa: <https://www.bbc.com/news/world-europe-48616174>, (Pristupljeno: lipanj 2020)

[56] Hrvatske agencija za poštu i elektroničke komunikacije. Preuzeto sa: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2011/Studije/UL-LATOR-SD-ATHAKOM_studija_ulaganja%20u%20%C5%A0PI-v.1.0..pdf , (Pristupljeno: lipanj 2020)

[57] Analysis Mason (2011.): Guide to broadband investment, Final report, Preuzeto sa: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item_id=7630 (Pristupljeno: lipanj 2020)

[58] Vojković G.: Telekomunikacijska legislativa i standardizacija, službeni materijali, Kabelaška kanalizacijska infrastruktura i pravo puta.pdf, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.

[59] Zakon o elektroničkim komunikacijama. Preuzeto sa: <https://www.zakon.hr/z/182/Zakon-o-elektroni%C4%8Dkim-komunikacijama>, (Pristupljeno: lipanj 2020)

[60] 3GPP. Preuzeto sa: <http://www.zemris.fer.hr/~sgros/courses/cn/2002-2003/seminari/finished/pdf/3GPP.pdf>, (Pristupljeno: lipanj 2020)

[61] 5G the complicated relationship between ITU and 3GPP. Preuzeto sa: <https://medium.com/swlh/5g-the-complicated-relationship-between-itu-and-3gpp-719938f42b8>, (Pristupljeno: lipanj 2020)

- [62] Blajić, T.:LTE–nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup. Preuzeto sa: https://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [63] 5G standards. Preuzeto sa: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-standards/> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [64] 5G PPP. Preuzeto sa: <https://5g-ppp.eu/>, (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [65] EK- 5G za Europu-Akcijski plan. Preuzeto sa :<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0588&from=hr> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [66] 5G fifth generation of mobile technologies. Preuzeto sa:<https://www.itu.int/en/me-diacentre/backgrounders/Pages/5G-fifth-generation-of-mobile-technologies.aspx> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [67] What can we expect from new 5G technology. Preuzeto sa:https://ec.europa.eu/croatia/content/what_can_we_expect_from_new_5G_technology_hr , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [68] What is 5G. Preuzeto sa: <https://www.qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g>, (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [69] Britanski EE 5G uslugu proširio na 80 gradova. Preuzeto sa: <https://mreza.bug.hr/britanski-ee-5g-uslugu-prosirio-na-80-gradova/> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [70] U devet europskih država uvedena 5G mreža. Preuzeto sa: <https://mreza.bug.hr/u-devet-europskih-drzava-uvedena-5g-mreza/> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [71] Haps 5G coverage. Preuzeto sa: <https://www.raconteur.net/technology/haps-5g-coverage> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [72] 5G digital divide urban rural communities. Preuzto sa:<https://www.smartcitiesdive.com/news/5g-digital-divide-urban-rural-communities/545211/> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [73] Frekvencijski pojas za 5G neće biti dostupan u Hrvatskoj prema predviđenom roku EU. Preuzeto sa:<https://mreza.bug.hr/frekvencijski-pojas-za-5g-nece-biti-dostupan-u-hrvatskoj-prema-predvidenom-roku-eu/> , (Pristupljeno: lipanj 2020)

- [74] 5G superbrza mreža uskoro stiže u Hrvatsku. Preuzeto sa: <https://dubrovacki.slobodnadalmacija.hr/dubrovnik/vijesti/hrvatska-i-svijet/5g-superbrza-mreza-uskoro-stize-u-hrvatsku-632612> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [75] 5G mreža. Preuzeto sa: <https://pcchip.hr/internet/5g-mreza/> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [76] Posjetili smo prvu zagrebačku baznu stanicu spremnu za 5G. Preuzeto sa: <https://www.bug.hr/telekomunikacije/posjetili-smo-prvu-zagrebacku-baznu-stanicu-spremnu-za-5g-5090> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [77] Lourenco M., Marinos, L.: ENISA threat landscape for 5G networks, November 2019.
- [78] Map 5G. Preuzeto sa: <https://www.nperf.com/en/map/5g> , (Pristupljeno: lipanj 2020)
- [79] Vlada Republike Hrvatske: Nacionalni plan djelovanja za uporabu frekvencijskog pojasa 470- 790 MHz, Zagreb, travanj 2020., str. 5-6.
- [80] Službeni list Europske Unije, broj L138/131: Odluka (EU) 2017/899 Europskog parlamenta i vijeća, 17. svibnja 2017. Preuzeto sa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D0899&from=HR> , (Pristupljeno: rujan 2020.)
- [81] Blackman C., Forge S.: 5G Deployment: State of play in Europe, USA and Asia, travanj 2019., str. 6.
- [82] Grašić V.: Use of virtualization in the transition of a telecommunication networks toward 5G, 2017., str. 99-100.
- [83] Militano L., Araniti G., Condoluci M., Farris I., Iera A.: Device-to-Device Communications for 5G Internet of Things, October 2015., str. 1.
- [84] Narodne novine: Odluka o proglašenju zakona o izmjenama i dopunama Zakona o elektroničkim komunikacijama, NN br. 72/17, 73/08, 90/11, 133/12, 80/13, 71/14.
- [85] Rizou S., Alexandropoulou-Egyptiadou E., Psannis K.E.: GDPR Interference with next generation 5G and IoT networks, June 2020., str. 52.

POPIS SLIKA

Slika 1: TDMA metoda, [4].....	6
Slika 2: VoIP arhitektura, [4]	8
Slika 3: Prikaz razvoja pokretnih mreža.....	9
Slika 4: Arhitektura 5G mreže, [10].....	12
Slika 5: 5G radio pristupna mreža, [12]	14
Slika 6: Masivni MIMO sistem, [15].....	16
Slika 7: Heterogena mreža, [25]	23
Slika 8: Mreža malih ćelija 5G mreže, [31].....	25
Slika 9: Podjela radijskog spektra, [32].....	26
Slika 10: Usluge u 5G mreži, [35]	30
Slika 11: Internet stvari, [39]	31
Slika 12: Sigurnosni mehanizmi, [45].....	37
Slika 13: Prikaz ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja, [55].....	46
Slika 14: Dostupnost 5G mreže u Velikoj Britaniji, [69].....	62
Slika 15: 5G mreža u EU, [70]	63
Slika 16: Pokrivenost 5G mrežom u svijetu, [78]	63
Slika 17: Prikaz antene za 5G mrežu na tornju HT-a, [76].....	70

POPIS TABLICA

Tablica 1: Dostupnost 5G mreže u svijetu (travanj 2020.).....	61
---	----

POPIS KRATICA

TDD	<i>(Time Division Duplex)</i> dupleks vremenske raspodjele
FDD	<i>(Frequency Division Duplex)</i> dupleks frekvencijske raspodjele
SDN	<i>(Software Defined Networking)</i> softverski definirano umrežavanje
GPS	<i>(Global Positioning System)</i> sustav za globalno pozicioniranje
GPRS	<i>(General Packet Radio Service)</i> opća radiousluga za prijenos paketa
EDGE	<i>(Enhanced Data Rates for GSM Evolution)</i> Poboljšane brzine prijenosa podataka za GSM evoluciju
UMTS	<i>(Universal Mobile Telecommunications System)</i> Univerzalni mobilni telekomunikacijski sustav
HSDPA	<i>(High-Speed Downlink Packet Access)</i> poboljšani 3G protokol za mobilnu komunikaciju
HSPA	<i>(High-Speed Packet Access)</i> nadogradnja na 3G UMTS za pružanje vrlo visokih brzina prijenosa podataka
IP	<i>(Internet Protocol)</i> Internet protokol
VoIP	<i>(Voice over Internet Protocol)</i> glasovna usluga posredstvom Internet protokola
LTE	<i>(Long term evolution)</i> dugoročna evolucija
WiMAX	<i>(Worldwide Interoperability for Microwave Access)</i> standardi bežične širokopojasne komunikacije
GSM	<i>(Global System for Mobile Communications)</i> Globalni sustav za mobilne komunikacije
NMT	<i>(Nordic Mobile Telephone)</i> Nordijski mobilni telefonski sustav
AMPS	<i>(Advanced Mobile Phone System)</i> Napredni sustav mobilnih telefona
TACS	<i>(Total Access Communication System)</i> Sustav komunikacije s potpunim pristupom

FDMA	<i>(Frequency Division Multiple Acces)</i> višestruki pristup podjele frekvencije
CDMA	<i>(Code Division Multiple Acces)</i> kodni višestruki pristup
TDMA	<i>(Time Division Multitple Access)</i> višestruki pristup vremenske podjele
SMS	<i>(Short Message Service)</i> usluga slanja kratkih poruka
NFV	<i>(Network Functions Virtualisation)</i> virtualizacija mrežnih funkcija
VEPC	<i>(Virtual Evolved Packet Core)</i> virtualna paketna jezgra
QoS	<i>(Quality of Service)</i> kvaliteta usluge
5G NR	Peta generacija novi radio
MIMO	<i>(Multiple-input multiple-output)</i> sustav s više prijamnih i odašiljačkih antena
SDN	<i>(Software Defined Networking)</i> softverski definirano umrežavanje
HetNet	<i>(Heterogeneous Network)</i> heterogena mreža
HDR	<i>(High Dynamic Range)</i> visoki dinamički raspon
HFR	<i>(High Frame Rate)</i> visoka brzina kadrova
ENISA	<i>(European Union Agency for Cybersecurity)</i> Europska agencija za mrežnu i informacijsku sigurnost
EU	<i>(European union)</i> Europska unija
HAKOM	Hrvatska agencija za mrežne djelatnosti
GDPR	<i>(General Data Protection Regulation)</i> opća uredba o zaštiti podataka
LSA	<i>(Licensed Shared Access)</i> licencirani dijeljeni pristup
ETSI	<i>(European Telecommunications Standards Institute)</i> Europski institut za telekomunikacijske norme
CEN	<i>(The European Committee for Standardization)</i> Europski odbor za normizaciju

CENELEC	<i>(The European Committee for Electrotechnical Standardization)</i>	Europski odbor za elektrotehničku normizaciju
ITU	<i>(International Telecommunication Union)</i>	Međunarodna telekomunikacijska unija
ISO	<i>(International Organization for Standardization)</i>	Međunarodna organizacija za normizaciju
IEC	<i>(International Electrotechnical Commission)</i>	Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo
CEPT	<i>(The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)</i>	Europska konferencija poštanskih i telekomunikacijskih uprava
URLLC	<i>(Ultra Reliable Low Latency Communication)</i>	ultrapouzdana komunikacije s niskim kašnjenjem
3GPP	<i>(The 3rd Generation Partnership Project)</i>	Partnerski projekt treće generacije
IMT-2000	<i>(International Mobile Telecommunications)</i>	Internacionalne mobilne komunikacije
ANSI/TIA/EIA-41	<i>(American National Standards Institute/ Telecommunications Industry Association/ Electronic Industries Alliance)</i>	globalni cdma2000 bazirani standard
IETF	<i>(Internet Engineering Task Force)</i>	radno tijelo za razvoj interneta
DCMS	<i>(Digital, Culture, Media, and Sport)</i>	Odjel za digitalnu kulturu, medije i sport
FCC	<i>(Federal Communications Commission)</i>	Federalna komisija komunikacije
DESI 2020	<i>(Digital Economy and Society Index 2020)</i>	Indeks digitalnoga gospodarstva i društva
SRAN	<i>(Single radio access network)</i>	jedinstvena radio pristupna mreža



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenju literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **UVODENJE 5G MREŽE S OSVRTOM NA PRAVNI OKVIR**

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

Student/ica:

Tahiri

(potpis)

U Zagrebu, 10.9.2020 _____