

# Tehnologija prijenosa podataka u mobilnim mrežama 5. generacije

---

**Stanilović, Lucija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:558624>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-16**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **TEHNOLOGIJE PRIJENOSA PODATAKA U MOBILNIM MREŽAMA 5. GENERACIJE**

### **DATA TRANSFER TECHNOLOGY IN 5G MOBILE NETWORKS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

Studentica: Lucija Stanilović

JMBAG: 0135242314

Zagreb, rujan 2021

Zagreb, 31. kolovoza 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Mobilni komunikacijski sustavi**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5248

Pristupnik: **Lucija Stanilović (0135242314)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Tehnologije prijenosa podataka u mobilnim mrežama 5. generacije**

### Opis zadatka:

Navesti i detaljno opisati prethodne generacije mobilnih mreža i njihove posebnosti u pogledu tehnologija za prijenos podataka. Prikazati svojstva mobilnih mreža 5. generacije (5G), opisati njihov razvoj i razliku s obzirom na 4G, navesti specifikaciju i očekivane performanse, objasniti mrežnu arhitekturu te navesti područje na kojem će takvi sustavi biti implementirani. Objasniti tehnologije za prijenos podataka i multipleksiranje signala korištene u 5G mrežama. Opisati mogućnosti koje pruža uporaba visokih frekvencija za prijenos signala u pogledu mogućnosti primjene antenskih nizova za usmjerenu komunikaciju između mobilnih i baznih stanica.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



---

izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

## **SAŽETAK**

U ovom radu obrađena je tema razvojnog puta mobilnih mreža s naglaskom na posljednju, odnosno petu generaciju mobilnih mreža. Mobilne mreže su tijekom posljednjih nekoliko desetljeća doživjele veliki napredak. Kategorizirane su po generacijama, a svaka od njih je nastala kao nadogradnja na prethodnu. Pojedinačno su obrađene prva, druga, treća i četvrta generacija mobilnih mreža. Za svaku od generacija navedene su specifikacije te nadogradnje koje su učinjene u odnosu na prethodnu generaciju. Fokus ovog rada usmjeren je na petu generaciju mobilnih mreža, a shodno tome je razrađen njen razvoj, ali i specifikacije, mrežna arhitektura te naposljetku korištenje na globalnoj razini. Slijedom navedenog, objašnjena je tehnika multipleksiranja te neki od tipova multipleksiranja koji se koriste u 5G mreži. Nadalje, obrađene su tehnike prijenosa podataka, kao i uporaba antenskih nizova i pametnih antena koje su od izuzetne važnosti za 5G mrežu.

**Ključne riječi:** mobilne mreže, 5G, multipleksiranje, tehnike prijenosa

## **ABSTRACT**

This paper deals with the topic of the development of mobile networks with an emphasis on the last, fifth generation of mobile networks. Mobile networks have experienced great progress over the last few decades. They are categorized by generations, and each of them was created as an upgrade to the previous one. The first, second, third and fourth generation of mobile networks are processed individually. For each of the generations, the specifications and upgrades made in relation to the previous generation are listed. The focus of this paper is on the fifth generation of mobile networks, and its development is elaborated, as well as its specifications, network architecture and lastly its use on a global level. Following the above, the multiplexing technique and some of the types of multiplexing used in the 5G network are explained. Furthermore, data transmission techniques are covered, as well as the use of antenna arrays and smart antennas that are of utmost importance for the 5G network.

**Key words:** mobile networks, 5G, multiplexing, transmission techniques

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PRETHODNE GENERACIJE MOBILNIH MREŽA</b> .....	2
<b>2.1. Prva generacija mobilnih mreža</b> .....	3
<b>2.2. Druga generacija mobilnih mreža</b> .....	3
<b>2.3. Treća generacija mobilnih mreža</b> .....	4
<b>2.4. Četvrta generacija mobilnih mreža</b> .....	4
<b>3. MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE</b> .....	6
<b>3.1. Razvoj</b> .....	6
<b>3.2. Specifikacija</b> .....	8
<b>3.3. Mrežna arhitektura 5G</b> .....	10
<b>3.4. Uporaba na svjetskom, europskom i hrvatskom tržištu</b> .....	13
<b>4. TEHNOLOGIJE PRIJENOSA U RAČUNALNIM MREŽAMA</b> .....	15
<b>4.1. Podjela računalnih mreža prema veličini</b> .....	17
<b>4.2. Podjela mreža prema topologiji</b> .....	18
<b>4.3. Mediji za prijenos podataka</b> .....	20
<b>5. TEHNIKE MULTIPLEKSIRANJA KOJE SE KORISTE U 5G MREŽI</b> .....	23
<b>5.1. Tipovi multipleksiranja</b> .....	23
<b>5.2. Multipleksiranje u 5G mreži</b> .....	25
<b>6. UPORABA ANTENSKIH NIZOVA I "PAMETNIH" ANTENA</b> .....	26
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	30
<b>LITERATURA</b> .....	31
<b>POPIS ILUSTRACIJA</b> .....	34
<b>POPIS TABLICA</b> .....	34

# 1. UVOD

Mobilne komunikacije su doživjele veliki napredak u posljednjih nekoliko desetljeća. Mobilne mreže kategorizirane su u generacijama, počevši od prve generacije sve do današnje, aktualne pete generacije (5G). Razvitak bežične komunikacije krajem 90-ih godina uvelike je povećao zahtjeve za mrežnom učinkovitošću te brzinom komunikacije. Razvojem mobilnih mreža svaka od generacija mobilnih mreža napredovala je do većih kapaciteta, a svaka od njih ujedno predstavlja tehnološki napredak.

Peta generacija mobilnih mreža predstavljena je krajem 2018. godine. Njene prednosti su gigabitna brzina prijenosa podataka, primjena za komunikacije u kritičnim situacijama te visoka pouzdanost komunikacije. Za funkcioniranje 5G mobilnog sustava, od izuzetne je važnosti razvoj 5G NR (*New Radio*). Nadalje, za 5G bitna je tehnologija mrežnog rezanja (*Network slicing*) koja je preuzeta od prethodne generacije mobilnih mreža, odnosno 4G LTE mreže.

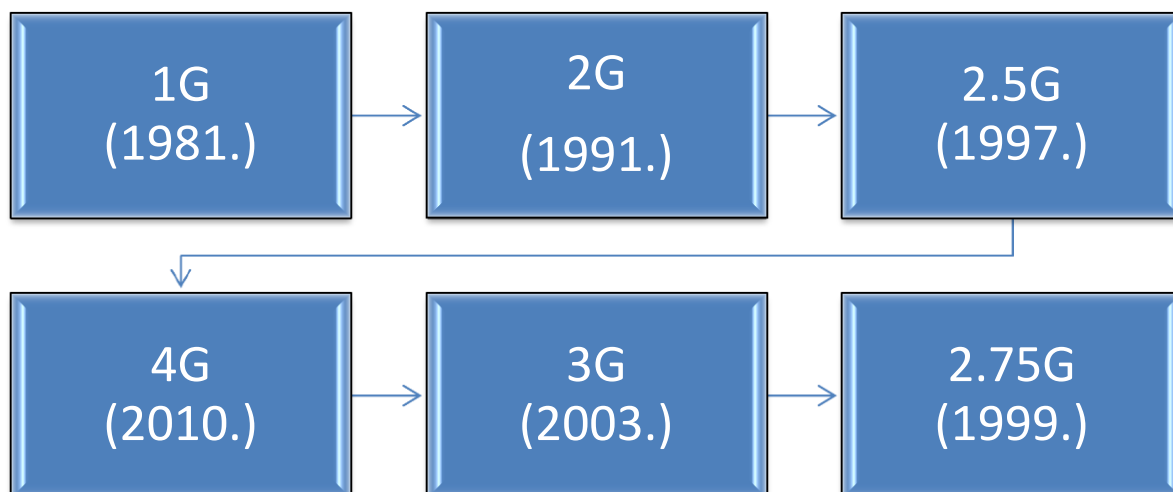
U ovom završnom radu razrađena je problematika tehnologije prijenosa podataka u mobilnim mrežama s naglaskom na prijenos podataka u mobilnim mrežama 5. generacije. Nadalje, u radu su obuhvaćene prethodne generacije mreža kako bi dale jasne distinkcije između svake od njih te kako bi se prikazao cjeloviti razvojni proces.

Završni rad sastavljen je od ukupno sedam poglavlja. U drugom poglavlju rada, prikazan je razvojni proces generacija mobilnih mreža. U trećem poglavlju obrađena je peta generacija mobilnih mreža uz prednosti i nedostatke u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža, od samog razvoja, specifikacija i mrežne arhitekture, do uporabe na svjetskom, europskom i hrvatskom tržištu. Četvrto poglavlje razrađuje podjelu računalnih mreža prema veličini i topologiji. Peto poglavlje govori o multipleksiranju. Šesto poglavlje obrađuje uporabu antenskih nizova i „pametnih“ antena. Sedmo poglavlje donosi zaključne osvrte na obrađenu tematiku.

## 2. PRETHODNE GENERACIJE MOBILNIH MREŽA

Mobilne su komunikacije u svega nekoliko desetljeća doživjele veliki napredak te su se putem različitih generacija prilagođavale novim telekomunikacijskim sustavima. Mobilne mreže kategorizirane su u generacijama počevši s prvom generacijom (1G) te danas aktualnom petom generacijom (5G). Koncept generacija sugerira procese razvoja istih [1]. Mobilne su mreže u posljednjim desetljećima, kroz sustave nadogradnje i unaprjeđenja, prošle radikalne promjene koje se mogu sagledati kroz karakteristike i specifičnosti svake od generacija. Razvoj mobilnih tehnologija moguće je promatrati na tri različita načina. Prvi se način odnosi na pojam generacija mobilnih mreža. Svaka od generacija predstavlja fazu razvoja pojedine mobilne mreže. Drugi je način vezan uz IMTs (*International Mobile Telecommunications*) prema kojemu ITU (*International Telecommunication Union*) razvija specifikacije i standarde za nov razvoj tehnologija, odnosno IMT standarde. Treći način podrazumijeva standarde prema kojima se može promatrati razvoj mobilne mreže [1].

Krajem 90-ih godina nastaje bežična komunikacija koja je raširena diljem svijeta, a njen je tehnološki napredak moguće promatrati od pojave prve generacije (1G) u kasnim 80-im godina. Razvoj tehnika obrade signala u trećoj generaciji mobilnih mreža znatno je unaprijedio komunikaciju. Veliko korištenje bežične komunikacije povećalo je zahtjeve za mrežnom učinkovitošću te brzinom komunikacije [2].



Slika 1. Evolucija mobilnih mreža.

## **2.1. Prva generacija mobilnih mreža**

Prva generacija mobilnih mreža pojavila se 1981. godine. Za ovu generaciju, značajan je sustav ćelijske mreže koji koristi veći broj odašiljača male snage (100 W ili manje). Lokalno je područje podijeljeno na ćelije s ograničenom udaljenošću. Svaka je ćelija služila kao bazna stanica. Prva ćelijska mreža pokrenuta je u Japanu od strane NTT-a (*Nippon Telegraph and Telephone*). Godine 1981., NMT (*Nordic Mobile Telephone*) unaprijedio je i poboljšao ovu tehnologiju te ju implementirao u Danskoj, Finskoj, Norveškoj i Švedskoj. U SAD-u prva se generacija pojavljuje 1983. godine, a zatim i u Ujedinjenom Kraljevstvu, Meksiku i Kanadi. Mreža prve generacije, u odnosu na nadolazeće, imala je mnogo mana kao, na primjer, pucanje veze te preklapanje poziva koje bi rezultiralo prisutnošću treće osobe u pozivu. Stoga se može zaključiti kako je bila vrlo nepouzdana.

U Sjevernoj Americi i Rusiji koristio se AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), u Italiji RTMI, a u Ujedinjenom Kraljevstvu TACS (*Total Access Communication System*). U Francuskoj se koristila mreža pod nazivom Radiocom 2000, a u Njemačkoj, Portugalu i državama Južne Afrike mreža C – 450.

## **2.2. Druga generacija mobilnih mreža**

S ciljem poboljšanja kvalitete prijenosa, kapaciteta sustava i pokrivenosti signalom, nastaje druga generacija mobilnih mreža, odnosno 2G. Sustav 2G mobilnih mreža postigao je veliki uspjeh u odnosu na prethodni 1G sustav. Druga generacija pojavila se 1991. godine, a najveći napredak je postigla promijenivši digitalni prijenos podataka. Kroz sam proces razvitka, podijelila se na 2G – GSM, 2.5G – GPRS te EDGE – 2.75G, a sve su koristile TDMA (*Time Division Multiple Access*) i FDD (*Frequency Division Duplex*). U Finskoj je 1991. godine od strane GSM operatera Radiolinja pokrenuta druga generacije mobilne mreže. U 2G tehnologiji koristio se digitalni signal za prijenos glasa brzinom do 64 kbit/s. Nadalje, omogućila je mnoge podatkovne usluge za mobitel kao što su VMS (*Voice Mail Service*) te SMS (*Short Message Service*). Najkorištenija tehnologija u drugoj generaciji jest GSM (*Global System for Mobile communication*) tehnologija. U Europi je primijenjen od strane ETSI-a (*European Telecommunications Standards Institute*) u svrhu razvoja i podrške međunarodnog roaminga [2]. To je jedan od razloga zbog kojega je 2G tehnologija nadvladala 1G tehnologiju. Glavna razlika između prve i druge generacije mobilnih mreža jest da prva koristi analogni i digitalni prijenos.



### **2.3. Treća generacija mobilnih mreža**

UMTS (*The Universal Mobile Technology*) je nasljednik sustava GSM te ujedno predstavlja prijelaz na treću generaciju mobilnih mreža. Nova generacija mobilnih mreža nastaje kao reakcija na sve veće potrebe mobilnih i Internet aplikacija te UMTS sustav povećava brzinu prijenosa na 2 Mbit/s po korisniku i uspostavlja standard za globalni roaming. Također, nova generacija mobilnih mreža ima veliku ulogu u osiguranju bežičnog pristupa globalnoj telekomunikacijskoj infrastrukturi te da omoguće širok spektar mogućnosti poput prijenosa govora, slika, video sadržaja te podataka. U pogledu 3G mrežnih sustava, oni trebaju osigurati korisniku sljedeće elemente: veći kapacitet sustava veća brzina prijenosa podataka, širokopojasnost te multimedijalnost, mogućnost osobne komunikacije bilo koje vrste, u bilo koje vrijeme i sa bilo kojeg mjesta te terminal koji će podržavati sve potrebne usluge (to treba biti osobni komunikator, koji bi funkcionirao kao telefon ili računalo). Nadalje, sustav UMTS treba imati zemaljske i satelitske komponente koje mogu omogućiti pristup servisima u širokom pojasu frekvencija (makro, mikro i pikoćelije). Slijedom navedenog, zadaća UMTS-a je da omogući univerzalnu pokrivenost, odnosno kapacitet za umrežavanje velikih geografskih područja. Kapacitet i širokopojasne mogućnosti za podršku velikom broju korisnika te velike brzine prijenosa podataka, najvažnije su značajke mobilne tehnologije treće generacije.

### **2.4. Četvrta generacija mobilnih mreža**

Nakon treće generacije, razvijena je nova tehnologija u svrhu prevladavanja nedostataka prethodnih generacija. Četvrta generacija mobilnih tehnologija donijela je mnoge prednosti u odnosu na prethodne. Temelji se na tehnologiji LTE (*Long Time Evolution*), odnosno međunarodnom standardu i kompletnoj IP tehnologiji za prijenos podataka u bežičnoj komunikaciji [2]. Naime, LTE (4G) mreža jest nadogradnja UMTS (3G) mreže, a kao takva pruža značajna poboljšanja. Bez obzira na činjenicu da je UMTS mreža utemeljena na IP (Internet Protocol), LTE predstavlja prvu radio pristupnu mrežu koja se zasniva na all-IP. LTE je sistem koji sadrži potpunu paketsku arhitekturu, a prijenos podataka se provodi putem paketske komutacije PS (*Packed Switched*). Nadalje, prijenos telefonskog poziva omogućen je putem IMS (*IP Multimedia Subsystem*) arhitekture. To predstavlja VoLTE (*Voice over Long-Term Evolution*) tehnologiju. LTE je donio povećanje brzine prijenosa i smanjenje kašnjenja (latencije). Cilj je četvrte generacije postići kvalitetno, jednostavno te cjenovno prihvatljivije komunikacijsko okruženje za sve skupine korisnika, osobito u

područjima u kojima ne postoji veliki interes za komercijalna ulaganja. Glavne su značajke četvrte generacije veće brzine prijenosa podataka te široko područje dostupnosti. Arhitektura 4G mreže sačinjena je od radio pristupnog dijela mreže E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*). Naime, E-UTRAN se sastoji od jednog elementa eNodeB te jezgrenog dijela mreže EPC (*Evolved Packet Core*) kojeg čine elementi SGW (*Serving Gateway*), MME (*Mobility Management Entity*) te PGW (*Packet Data Network Gateway*). U pogledu 5G mreže, ona podržava dvije vrste arhitekture mreže, tj. NSA (*Non – Stand Alone*) te SA (*Stand – Alone*). NSA mrežna arhitektura je poznata još od nazivima E – UTRA – NR *Dual Connectivity* (EN -DC) te *Architecture options 3*, iz razloga što koristi postojeće 4G radio pristupne mreže, kao i 4G jezgri dio zajedno s novim 5G radio pristupnim dijelom NR. Važno je za istaknuti kako je ključna tehnologija u 4G/LTE mreži multipleksiranje na bazi ortogonalne frekvencijske raspodjele (OFDM). U sljedećoj 5G mreži, implementiran je ovaj način multipleksiranja no u širem opsegu frekvencija.

### 3. MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE

Peta generacija mobilnih tehnologija, nova je mobilna tehnologija koja se trenutno implementira diljem svijeta. Nadalje, peta generacija predmet je mnogih rasprava vezanih uz budućnost tehnologije. Na tržištu je predstavljena krajem 2018. godine. Omogućuje mrežu koja je konstruirana za povezivanje velikog broja uređaja koji mogu slati informacije korisniku, upravljati određenim procesima kao što su stroj sa strojem (*Machine-to-Machine – M2M*) i Internet stvari (*Internet of Things – IoT*) [4]. Nadalje, 5G mreža dizajnirana je za povezivanje gotovo svega. Naime, razvojem 5G mreže nastoje se pružiti veće maksimalne brzine prijenosa podataka s više Gbit/s te niskim kašnjenjem. Također omogućuje veću pouzdanost, ogroman mrežni kapacitet te povećanu dostupnost. Pretpostavlja se da će 5G mreža do 2035. godine ostvariti i svoj puni ekonomski učinak, što je u odnosu na prethodne generacije puno veći utjecaj obzirom na to da obuhvaća širok spektar industrija i različitih usluga. U idućem poglavlju razrađeni su različiti aspekti pete generacije mobilnih mreža.

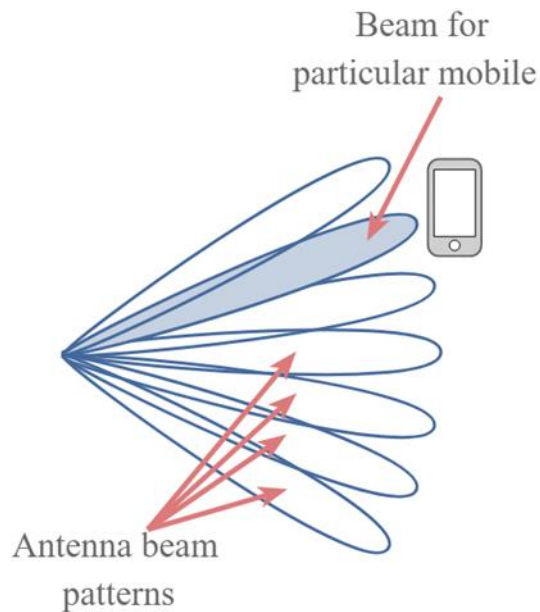
#### 3.1. Razvoj

Iako se peta generacija pojavila na tržištu, ona je u procesu svog razvoja. Danas se koristi zajedno s već implementiranom 4G mrežom. Na planu široke pokrivenosti te kako bi se ista mogla omogućiti, koriste se tri frekvencijska pojasa: niski, srednji i visoki pojas. Svakom od frekvencijskih pojasa manjka domet ili brzina. Niski pojas koristi frekvencije koje su ekvivalentne 4G mreži, odnosno 600 – 700 MHz te može podržati brzine između 30 i 250 Mbit/s, dok je domet identičan 4G mreži. Nadalje, srednja razina koristi mikrovalove od 2,5 – 3,7 GHz te podržava brzine od 100 – 900 Mbit/s, dok domet iznosi nekoliko kilometara. Srednji pojas je najkorišteniji, a ujedno i najrašireniji pojas u velikom broju velikih gradova. Naposljetku, visoka razina koristi frekvencije u iznosu od 25 – 39 GHz. Visoka razina zbog malog dometa i problema s prolaskom kroz različite barijere, rezervirana je samo za posebne prostore i uvjete u kojima postoji veća potreba korisnika kao što su znanstvene organizacije, velika gradska središta, trgovački centri i sl. [4]. Funkcije koje će donijeti 5. generacija mobilnih mreža su sljedeće:

1. veća učinkovitost upotrebe radijskog spektra
2. manje dimenzije i duže trajanje baterije
3. prosječna brzina prijenosa podataka u pokretu oko 1 Mbit/s
4. bolja rubna radijska pokrivenost i veća brzina podataka reda 10 Gbit/s po ćeliji

5. ukupno povratno kašnjenje od 1 ms
6. mogućnost raspodjele podataka prilikom slanja i primanja kroz dva različita komunikacijska kanala, tj. dvije različite pristupne mreže
7. primjena umjetne inteligencije u aplikacijama
8. gusta mreža malih radijskih ćelija. [4]

U pogledu jezgrene mreže pete generacije, važno je istaknuti da će njena glavna karakteristika biti softverska rekonfiguracija koja će pružiti dinamičko mijenjanje funkcionalnosti uređaja u skladu s različitim standardima. Na taj će način utjecati na smanjenje troškova izgradnje takve opreme. Nadalje, komunikacijski će sustavi učinkovitije upravljati kapacitivnim preopterećenjima u mreži. Također, implementirat će se tehnologije kao što su komunikacija u oblaku, nanotehnologija, inteligentni radio (*cognitive radio*) te paketna IP tehnologija u mrežnoj arhitekturi. Primjena M2M (*Machine to Machine*) komunikacija opteretit će bežičnu i jezgrenu mrežu, stoga se očekuje optimizacija procedure uspostave veze te primjena kontrolne signalizacije u pristupnoj radio mreži. U kontekstu ranije spomenute nanotehnologije, ona djeluje na valnoj skali od 0,1 nm do 100 nm, a predviđa se njena primjena u ovom sustavu mobilnih komunikacija. Pored ostalog, mobilni uređaji će postat inteligentna platforma koja će omogućiti optimalnu evaluaciju prikupljenih podataka u skladu s specifičnim algoritmima, kao i kvalitetnu međusobnu komunikaciju, tj. komunikaciju s centralnim dijelom specifičnog sustava. Nanotehnologija se primjenjuje u digitalnom procesiranju signala te se njenom primjenom omogućava veća brzina i kapacitet jezgrenog dijela sustava. IP platforma u jezgrenoj mreži osigurava efikasnu komunikaciju s različitim sustavima pristupnih mreža, ali i manje kašnjenje signala u sustavu. Obzirom na činjenicu da je riječ o internetskom protokolu, vrlo je bitno omogućiti visok stupanj sigurnosti. Implementacijom tehnologije računanja u oblaku (*cloud computing*) smanjuju se troškovi iz razloga što operatori ne trebaju nabavljati te koristiti vlastitu opremu koja bi imala istu funkcionalnost kao i ona unutar oblaka. U petoj generaciji, ovaj princip će se koristiti primjenom virtualizacije mrežnih funkcija (NFV – *Network Functions Virtualisation*). Naime, riječ je o tehnološkom trendu koji funkcionira na način da se normiziraju izvedbe različitih mrežnih elemenata. [4]



Slika 2. Beamforming tehnika u 5G tehnologiji<sup>1</sup>.

### 3.2. Specifikacija

Razvoj moderne tehnologije rezultirao je razvojem mobilnih mreža te je samim time svaka generacija mobilnih mreža napredovala do većih kapaciteta i dosega. Svaka od njih predstavlja tehnološki napredak i omogućuje brže pristupanje Internetu s većim brojem korisnika istovremeno.

Peta generacija mobilnih mreža još je uvijek u svom razvojnem procesu, no pretpostavlja se i nagovještuje veliki napredak u 2020-im godinama. Dosad korištena tehnologija omogućila je da se u djeliću sekunde šalju i primaju podaci između pametnih uređaja i internetske mreže. Ona omogućuje veću efikasnost uređaja, veću pouzdanost i spajanje gotovo milijuna uređaja po kilometru kvadratnom. Nadalje, omogućuje smanjenje kašnjenja signala te time unaprjeđenje praćenja sadržaja uživo. Prema službenim stranicama Europske komisije, uporaba 5G mreže osigurat će brojna poboljšanja u različitim gospodarskim sektorima. "Upotrebom 5G mreže razvijat će se umjetna inteligencija te se otvara mogućnost njezine široke primjene u industriji, poljoprivredi, obrazovanju, zdravstvu, a gradit će se i pametna gradska infrastruktura, unaprjeđujući tako način funkcioniranja javnih službi. Uz ovakvu tehnologiju, vozila će moći komunicirati između sebe i razmjenjivati podatke, primjerice o stanju u prometu, a i s okolinom. Razvojem 5G mreže unaprijedit će se

<sup>1</sup> (<https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/massive-mimo.php>)

medicina, koja će kirurzima omogućiti pružanje pomoći kolegama u operacijskim salama u stvarnom vremenu, a bit će moguće i izvođenje operacija na daljinu preko robotiziranih ruku. 5G mreža će omogućavati rad pametnih kućanskih uređaja, umreženih AI uređaja (uređaji koji koriste tehnologiju umjetne inteligencije), a mogla bi i u potpunosti promijeniti način na koji učimo i prenosimo znanja i vještine." [5]



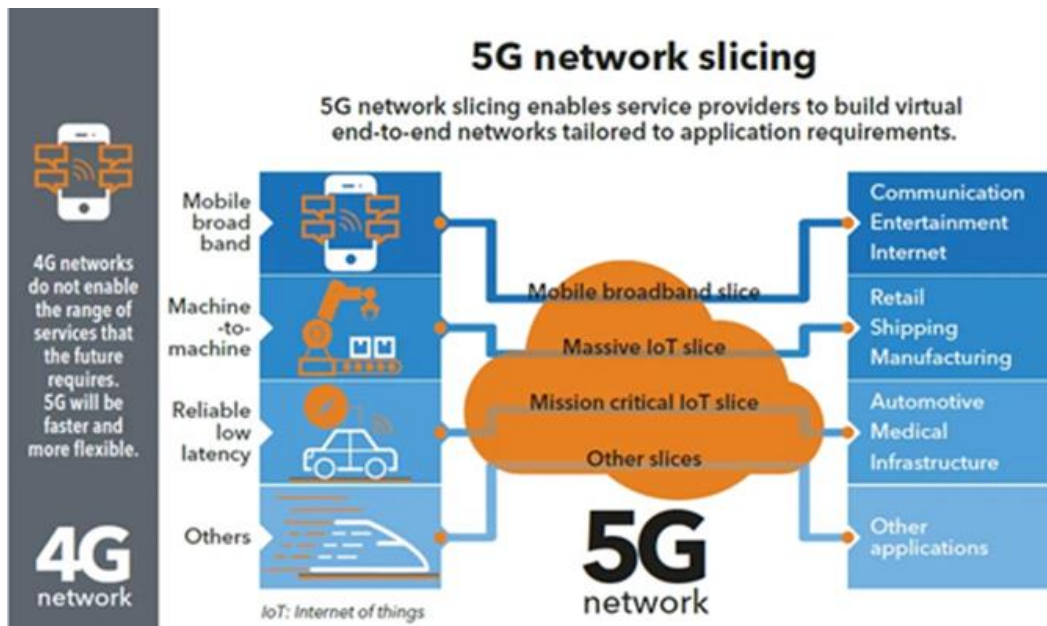
Slika 3. Prikaz mogućnosti koje nudi 5G mreža<sup>2</sup>.

Prema procjenama Europske komisije, prihodi 5G mreže u 2025. godini bit će 225 milijardi eura [5] te iz tog je razloga ključna za europsku konkurentnost u pogledu globalnog tržišta. Značajno je također da se 5G mreža primjenjuje u svim državama članicama Europske unije u svrhu jednakih mogućnosti u pogledu digitalnog napretka. Nadalje, Europska komisija je predložila usklađen pristup i operativne programe na državnim i EU razinama. Konkretnije, predlaže se da svaka država članica EU izradi vlastitu procjenu rizika infrastrukture. Od velike je važnosti razmjena podataka i informacija prilikom same izrade, uz potporu Europske komisije i Europske agencije za sigurnost na Internetu (ENISA). Prema dovršenim procjenama, dužnost članica jest zajednički dogovor vezan uz mjere za smanjenje rizika koje bi bile primjenjive na nacionalnim razinama. [5]

<sup>2</sup> ([https://ec.europa.eu/croatia/content/what\\_can\\_we\\_expect\\_from\\_new\\_5G\\_technology\\_hr](https://ec.europa.eu/croatia/content/what_can_we_expect_from_new_5G_technology_hr))

### 3.3. Mrežna arhitektura 5G

U odnosu na prethodne generacije, peta generacija mobilnih mreža nudi veću brzinu prijenosa podataka koja je postignuta uvođenjem novih tehnologija te promjenom mrežne arhitekture. Ona se sastoji od dva temeljna dijela koja su korištena i u prethodnim generacijama mobilnih mreža, no u ovom slučaju one su modificirane i unaprijeđene. Za funkcioniranje 5G mobilnog sustava ključan je razvoj 5G NR (*New Radio*) koji je razvijen zbog sve većih zahtjeva korisnika. 5G koncipiran je uz pomoć tzv. mrežnog rezanja. 5G mreže su projektirane kako bi zadovoljile zahtjeve brojnih različitih industrija, od kojih svaka ima svoje specifične zahtjeve. Pojedine industrije mogu imati zahtjeve za velikim brzinama podataka s nešto višim latencijama, dok pojedine mogu imati zahtjeve za niskom latencijom i velikom pouzdanošću prijenosa podataka gdje brzina prijenosa nije od ključne važnosti. Upravo se pomoću tehnologije mrežnog rezanja (*Network slicing*) omogućava prilagodba mreže prema različitim potrebama pojedine industrije. Mrežno rezanje je termin koji se odnosi na virtualnu mrežnu arhitekturu gdje se omogućava korištenje više virtualnih mreža unutar zajedničke fizičke infrastrukture. Započela se koristiti kod 4G LTE mreža i kao jedna od značajki 5G mreža će omogućiti mrežnim operaterima "rezanje" fizičke mreže na više logički neovisnih virtualnih mreža ovisno o aplikacijskim zahtjevima. Mrežno rezanje se temelji na programskim rješenjima preko SDN (*Software Defined Network*) i NFV (*Network Function Virtualisation*) tehnologija koje nam omogućavaju fleksibilnost kreiranja logičkih virtualnih mreža prema specifičnim zahtjevima za određenu primjenu.[9] Sljedeća slika prikazuje pojam mrežnog rezanja.



Slika 4. Prikaz mrežnog rezanja<sup>3</sup>.

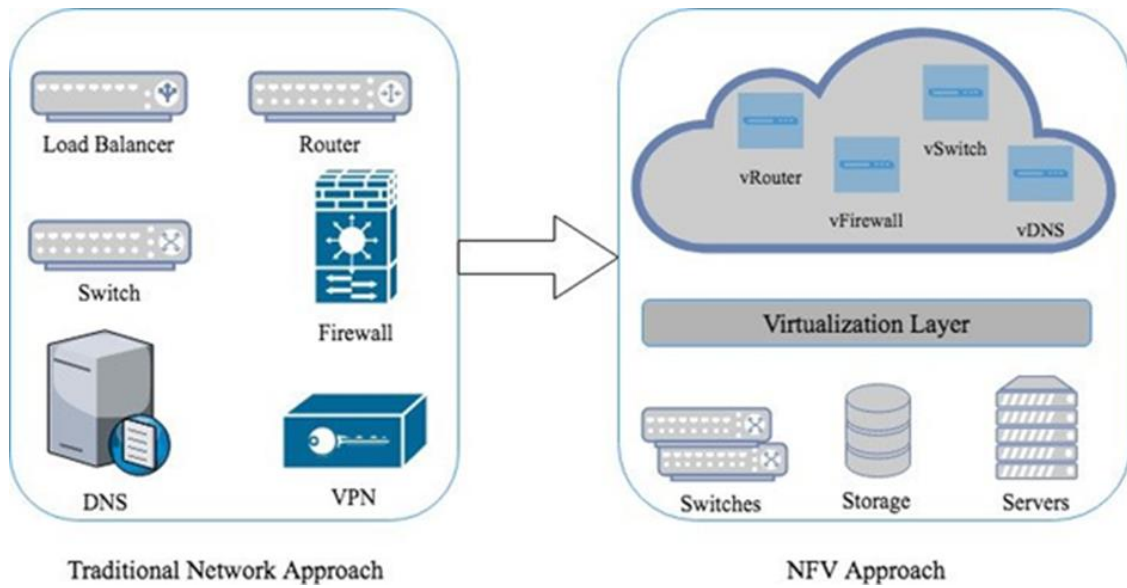
Obzirom da je 5G sustav još u svom razvojnem procesu, postoje mnoge aktualne ideje kojima bi se isti unaprijedio i došao do svog vrhunca. Zbog manjka egzaktnih činjenica i znanstvenih radova vezanih uz sam sustav, danas postoje brojne rasprave i prijedlozi koji mogu doprinijeti samoj realizaciji sustava. Neki znanstvenici smatraju da brzina nije glavna značajka ovog sustava, već da su tehnologije koje mogu potencijalno proizaći iz rada na ovome od veće važnosti. Virtualizacija mrežnih funkcija (*Network Function Virtualisation*, NFV) te softverske definirane mreže (*Software Defined Network*, SDN) jedne su od takvih tehnologija.

NFV, koncept je mrežne arhitekture čija je glavna karakteristika odvajanje softvera od hardvera, a također omogućuje stvaranje mrežnih funkcija u oblaku (*cloud*) te softverski uz činjenicu da pritom nije potrebno ugraditi novi hardver. Nadalje, SDN je NFV-ov produžetak kojim se osigurava softverska dinamička rekonfiguracija topologije mreže. Slijedom navedenog, omogućuje se preusmjeravanje dostupnih kapaciteta ukoliko postoji potreba za istim.

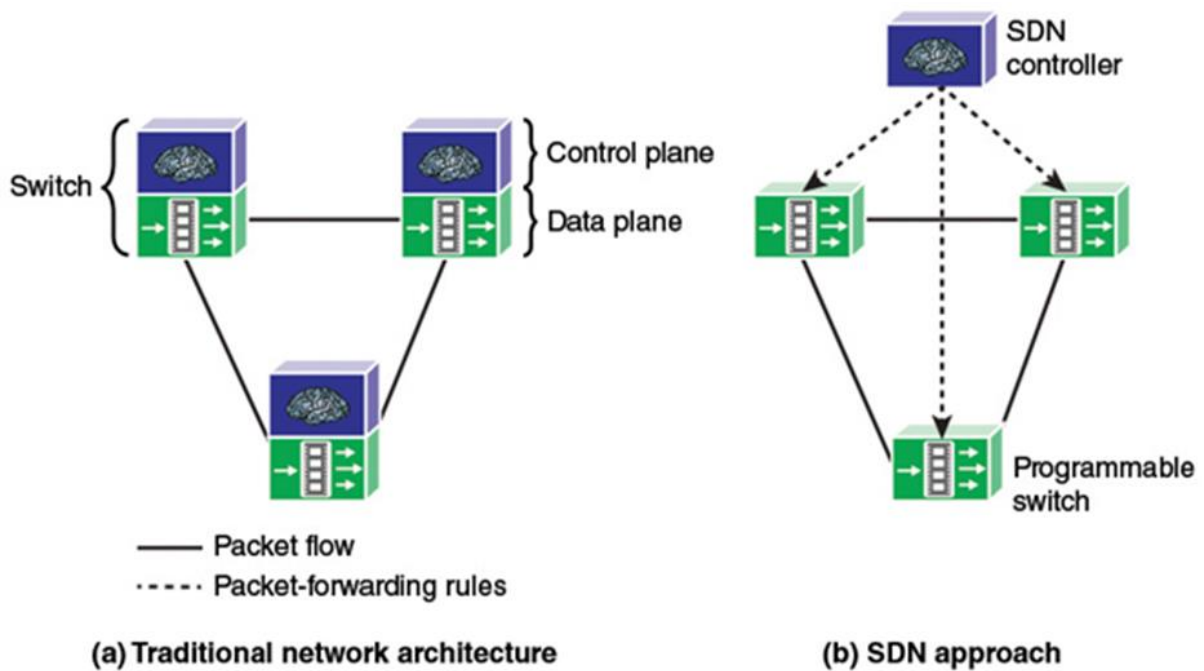
Sukladno 4G LTE, koja je podijeljena na dva dijela, Enb (RAN) i jezgrenu mrežu (S/G-PW i MME), 5G mreža je podijeljena također na dva dijela, odnosno na korisnički sloj MCU-UP (MCU – *User Plane*) te upravljački sloj MCU-CP (MCU – *Control Plane*) u kojem je MCU-UP nositelj dostave, a MCU-CP upravlja kontrolnim funkcijama.

<sup>3</sup> (<https://news.itu.int/why-end-to-end-network-slicing-will-be-important-for-5g/>)





Slika 5. Prikaz glavne razlike između koncepta NFV-ove mrežne arhitekture i tradicionalnog koncepta<sup>4</sup>.



Slika 6. Prikaz glavne razlike između koncepta SDN mrežne arhitekture i tradicionalnog koncepta<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> ([https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-traditional-network-approach-and-NFV-approach\\_fig1\\_334699708](https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-traditional-network-approach-and-NFV-approach_fig1_334699708))

<sup>5</sup> (<https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2451956&seqNum=2>)

### 3.4. Uporaba na svjetskom, europskom i hrvatskom tržištu

Prema HAKOM-u, operateri mreža pokretnih komunikacija inkorporirali su 5G tehnologiju u Republici Hrvatskoj koristeći se dinamičkim dijeljenjem spektra (*Dynamic Spectrum Sharing* – DSS) koji operaterima osigurava uporabu istog radiofrekvencijskog spektra. Drugim riječima, koristi se isti frekvencijski pojas za pružanje 5G i 4G (LTE) usluga. Nadalje, provodi se dijeljenje resursa između 4G i 5G tehnologija. Dijeljenje se provodi ovisno o prometnim potrebama korisnika za pojedinom tehnologijom na određenom području na kojem se resursi tijekom vremena dinamički raspoređuju. [7]

Nadalje, *Dynamic Spectrum Sharing* omogućava pokrivanje 5G signalom koristeći se 4G spektrom, a ujedno koristeći postojeću radijsku opremu i lokacije. Time se osigurava sva potrebna oprema bez investiranja u novu 5G infrastrukturu. Ovim postupkom, osiguravaju brzo i učinkovito uspostavljanje 5G mreže bez potrebe za dodjeljivanjem novog spektra. HAKOM na svojoj internetskoj stranici ističe iduće: S obzirom na to da se u RH radiofrekvencijski spektar, primarno namijenjen za 5G, planira dodijeliti tijekom prve polovice 2021., uporaba DSS-a čini 5G tehnologiju dostupnom krajnjim korisnicima i prije te dodjele. Uporaba DSS-a u klasičnim 4G pojasevima doprinijet će bržoj implementaciji 5G tehnologije. Podaci o baznim postajama koje su u komercijalnom radu su javno dostupni u sklopu HAKOM-ovog GIS portala, u okviru tematskog preglednika „Radijske postaje“ [6].

Izmjenom planova dodjele za radiofrekvencijske pojaseve 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz i 2600 MHz (NN br. 110/20) u tim je pojasevima dopuštena uporaba i 5G tehnologije te posljedično i uporaba DSS-a. Implementacija DSS tehnologije, kao i odabir pojaseva u kojima će se ona odviti, ovisi o poslovnim planovima pojedinog operatora. [6]

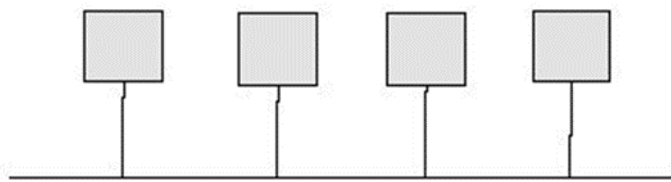
Prema podacima iz Ericssona, od izuzetnog je značaja demonstracija uživo 5G sustava koja je premijerno izvedena u hrvatskoj tvrtci Ericsson Nikola Tesla. Posrijedi je suvremena tehnologija kojom je potvrđena spremnost 5G mreže za korištenje. Ova tehnologija funkcionira u mikrovalnom području te se njena uporaba u Europi očekuje u 2020-im godinama, odnosno u drugom valu implementacije 5G mreže. Naime, stručnjaci pretpostavljaju da će ova tehnologija promijeniti društvo u cjelini, mnoge industrijske procese te komunikacijske mogućnosti. Nadalje, sama konfiguracija sustava sadrži radijsku postaju te dva terminala kojima se osigurava jasan prikaz povećanja sustavnog kapaciteta koji je ujedno opremljen višekorisničkom tehnologijom s više odašiljačkih i prijamnih antena (MIMO).

Time je predstavljena stabilna brzina prijenosa podataka s preko 20 Gbit/s kao i s istovremenim prijenosom video sadržaja visoke rezolucije. Kad bi se to provelo u praksu, značilo bi velikom broju korisnika nebitno o mjestu stanovanja bio omogućen mobilni komunikacijski kapacitet kakve je jedino uspijevala osigurati optička infrastruktura u urbanim sredinama. Nadalje, kao bitnu karakteristiku 5G tehnologije autor izdvaja nisko kašnjenje u mreži čime se automatski omogućuju nove primjene bežičnih tehnologija. To je posebno značajno u domeni Internet vještina (*Internet of skills*) u uporabi na daljinu kao i smještaju aplikacija koje djeluju u realnom vremenu u oblak (*cloud*).

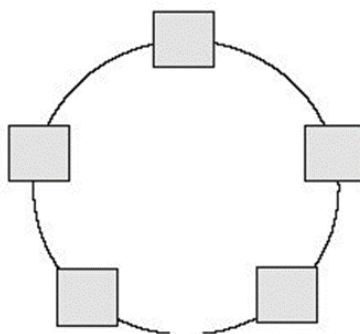
#### 4. TEHNOLOGIJE PRIJENOSA U RAČUNALNIM MREŽAMA

Pravila po kojima umrežena računala razmjenjuju informacije nazivaju se protokoli. Oni određuju pravila i red po kojima će se komunikacija odvijati. Govoreći o tehnologiji prijenosa te načinu na koji se to izvršava, za početak bitno je napomenuti klijenta i poslužitelja. Poslužitelj je računalo ili softver koji pruža usluge pretplatnicima odnosno klijentima.

Prema tehnologiji prijenosa, razlikujemo difuzijske mreže i mreže od točke do točke. Razlika između navedena dva tipa jest u broju komunikacijskih kanala. Kod difuzijskih mreža, svi povezani uređaji koriste jedan komunikacijski kanal. Adresno polje određuje kojem uređaju paket pripada. Najčešće lokalne mreže koriste difuzijski tip prijenosa. Slijedeće dvije slike prikazuju skicu difuzijske mreže na primjeru sabirnice (slika 7) i na primjeru prstena (slika 8).



*Slika 7. Difuzijski tip prijenosa na primjeru sabirnice<sup>6</sup>.*



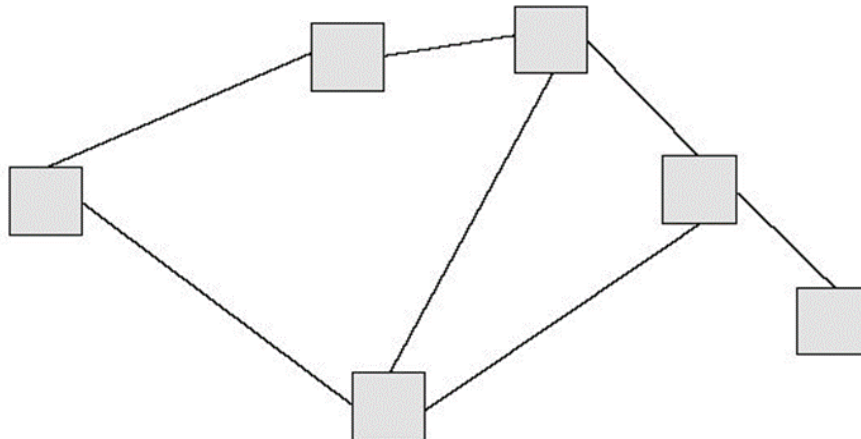
*Slika 8. Difuzijski tip prijenosa na primjeru prstena<sup>7</sup>.*

---

<sup>6</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

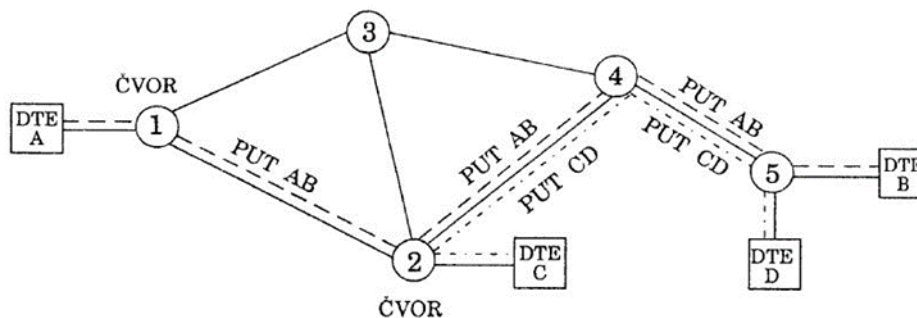
[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)

Mreža od točke do točke predstavlja drugi tip prijenosa mreže koju karakterizira puno međusobno spojenih uređaja. Od izvora do odredišta, određena prijenosna informacija može proći kroz više čvorova. Veće, globalne mreže koriste navedeni tip prijenosa. Primjer se nalazi na slici 9.



Slika 9. Mreža od točke do točke<sup>8</sup>.

Važno je napomenuti i način prospajanja prometa kod kojeg razlikujemo vezu od točke do točke, prospajanje linijom, prospajanje porukom odnosno paketom te difuzijske mreže. Kod prospajanja linijom, uspostavi se kanal te svi podaci putuju istim putem što će biti prikazano na slici 10.



Slika 10. Prospajanje linijom<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)

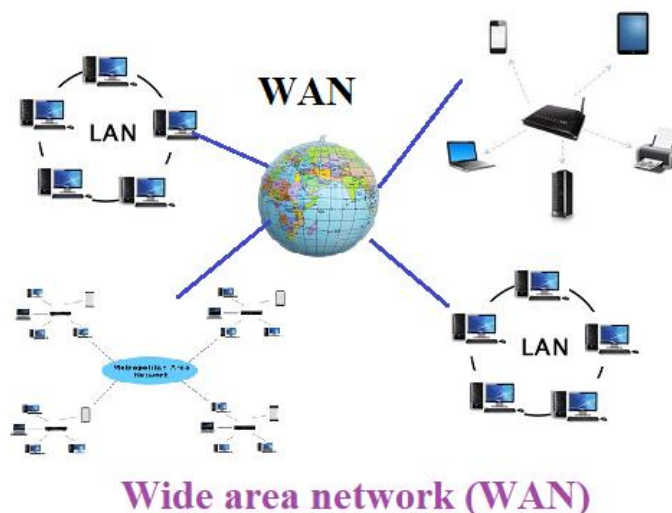
<sup>8</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)

Difuzijske veze koriste jedan komunikacijski kanal kojeg dijele svi. Jedan čvor šalje informaciju, odnosno paket s adresom primatelja, kojeg primaju svi.

#### 4.1. Podjela računalnih mreža prema veličini

Osim po načinu prijenosa paketa, mreže se dijeli i prema veličini. Tako razlikujemo lokalnu mrežu (*Local - Area Network - LAN*), međugradsku mrežu (*Metropolitan-Area Network-MAN*) i međudržavnu mrežu (*Wide - Area Network - WAN*). Lokalna mreža ograničena je na manji geografski doseg poput sobe, kata, zgrade i cijelog kampusa. Međugradska mreža, po veličini i geografskom dosegu, nalazi se između lokalne i međudržavne mreže. Pokriva područje jednog grada i/ili prigradskog naselja. Međudržavna mreža (WAN) sastoji se od više povezanih lokalnih mreža. WAN mreža pokriva velika geografska područja. Najčešće se koristi za telefonske vodove, satelitsku tehnologiju kako bi se povezala računala u raznim državama, a ponekad i na kontinentima. Slika 11 prikazuje odnose između navedenih mreža.



Slika 11. Odnosi između mreža<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)

<sup>10</sup> Slika 11. (Wide Area Network, URL: <http://www.vidyagyaan.com/computer-knowledge/types-of-computer-network-lan-man-and-wan/attachment/wide-area-network-wan/>, pristupljeno: 20.06.2021.)

Razlika između navedenih mreža i njihov doseg prikazani su u tablici 1.

*Tablica 1. Svojstva mreža.*

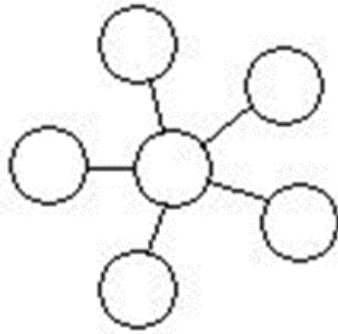
Udaljenost	Lokacija	Tip mreže
10 m, 100 m, 1 km	Soba, zgrada, niz zgrada	LAN
10 km	Grad	MAN
100 km, 1000 km	Država	WAN
> 1000 km	Planet	Internet

#### 4.2. Podjela mreža prema topologiji

Govoreći o vrstama mreže prema topologiji, razlikujemo sabirničku, zvjezdastu, prstenastu, isprepletenu i stablastu.

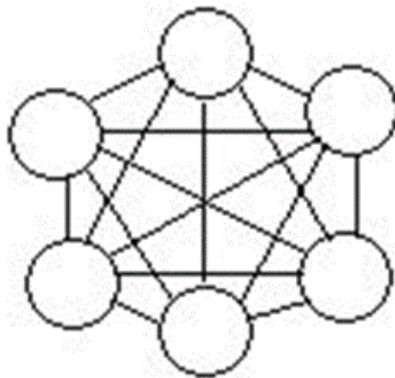
Sabirnička topologija podrazumijeva linearan sustav, odnosno spajanje računala jedno na drugo. Prednosti ovog tipa mreže su jednostavnost spajanja i estetičnost, u smislu potrebe za manjim brojem kabela. Jedna od mana ove mreže je ta što može doći do vrlo lakog pada u slučaju oštete glavnog kabela. Ukoliko dođe do toga, teško je pronaći mjesto problema.

Kod prstenaste topologije, zadnje računalo u nizu spaja se na prvo računalo u nizu, što formira mrežu oblika prstena. Jedna od bitnijih prednosti ovog tipa mreže je ta što svi čvorovi imaju istu brzinu i ostale karakteristike. Ovo je najskuplji tip topologije koji je jako kompleksan te manu predstavlja to što kvar jednog čvora može utjecati na rad ostalih. Ova mreža nudi veću pouzdanost jer nema glavnog čvora. Zvjezdasta topologija sadrži jedan centralan uređaj na kojeg se spoje ostala računala te se tako stvara oblik zvijezde. Prednosti ove topologije su jednostavno umrežavanje te jednostavan pronalazak problema na mreži. Mana je ta što ako dođe do kvara centralnog uređaja, sva računala spojena prestaju funkcionirati.



*Slika 12. Zvezdasta topologija<sup>11</sup>.*

Isprepletena topologija podrazumijeva direktnu vezu između svih računala povezanih na mrežu, čija je skica prikazana na slici 13.



*Slika 13. Isprepletena topologija<sup>12</sup>.*

Zadnja vrsta topologije je stablasta topologija koje se sastoji od više grupa računala povezanih po zvezdastoj topologiji. Svaka takva grupa povezana je na glavnu okosnicu. Slika 14 prikazuje skicu opisane topologije.

---

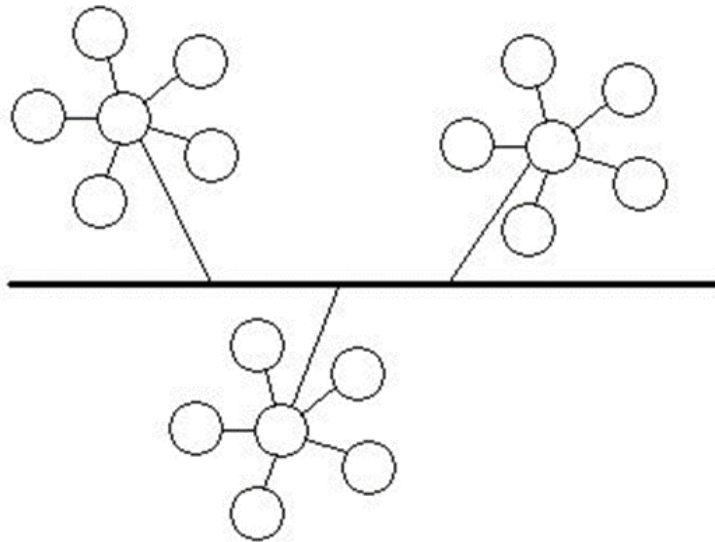
<sup>11</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)

<sup>12</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)





Slika 14. Stablasta topologija<sup>13</sup>.

### 4.3. Mediji za prijenos podataka

Ukoliko pretplatnik želi koristiti Internet, potrebno je spojiti se određenim medijem. Na Internet se može spojiti žičano i bežično. Modemski pristup i širokopolasni pristup su vrste žičanog povezivanja. Kod modemskog pristupa, pretplatnik koristi modem i telefonsku liniju kako bi se povezoao na Internet. Prvi modem pojavio se 1979. godine. Njegova zadaća je pretvaranje signala dobivenog iz računala u analogni signal koji se potom prenosi. Najveća brzina ovakvog načina je 56 kbit/s te je pretplatnik dužan platiti vrijeme provedeno na Internetu. Širokopolasni pristup Internetu pripadaju i kabelski modem, asimetrična digitalna pretplatnička linija ADSL i simetrična digitalna pretplatnička linija SDSL, koje uobičajeno koriste privatni korisnici. Oni ostvaruju brzinu veću od 144 bit/s. Pored sveg navedenog što koriste privatni korisnici, poslovni korisnici imaju mogućnost pristupa preko digitalnih zakupljenih vodova DSL i optičkih vodova.

Pojava DSL-a omogućila je prijenos podataka puno većim brzinama, za razliku od prethodnih načina. ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) omogućava brzine 0,5-1,8 bit/s ili 1,5-12 bit/s. Kod ovog načina, korisnik može biti udaljen maksimalno 7 kilometara od centrale. Međutim, na tržištu se našla i naprednija verzija, ADSL2+. On omogućava veće brzine, ali udaljenost od centrale mora biti manja od jednog kilometra. Cijena ovisi o količini

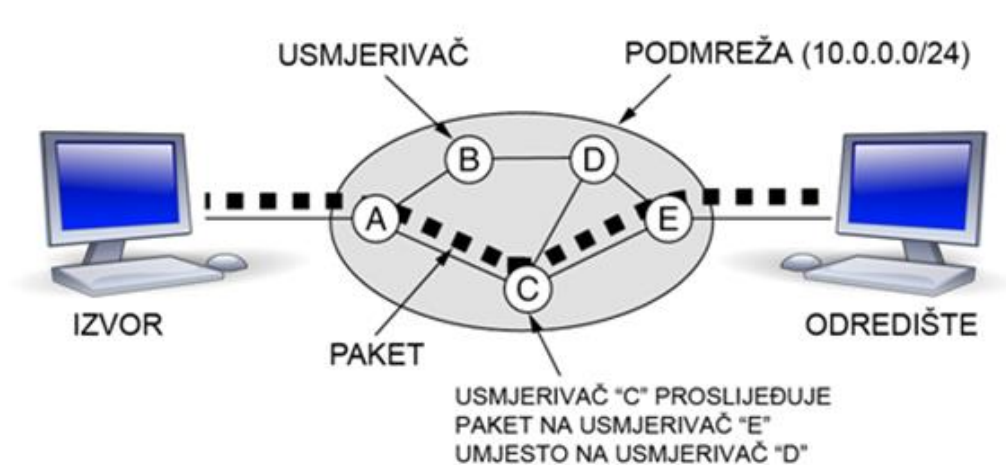
<sup>13</sup> (Podjela računalnih mreža, URL:

[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 20.06.2021.)

preuzetih i poslanih podataka stoga davatelji Internet usluga nude razne pakete poput FLAT tarife gdje je promet neograničen.

Nadalje, kod bežičnog spajanja, pretplatnik se bežično spaja na pristupnu točku koja je uobičajeno izvedena kao usmjerivač za kućni prijam ili na bežičnu mrežu od ISP-a. Vrste WLAN-ova su 802.11b, 802.11g, 802.11a, 802.11n, 802.11ac i 802.16. Mana ove vrste je mogućnost loše uspostave veze radi prevelikog broja uređaja koji su spojeni na mrežu te koriste istu frekvenciju.

Skup informacija koji putuju mrežom od izvora do odredišta naziva se paket. Dok informacija putuje prolazi kroz čvorove kod kojih se vrši detekcije i ispravljaju se greške ukoliko one postoje. Navedeni sustav bit će prikazan na slici 15.

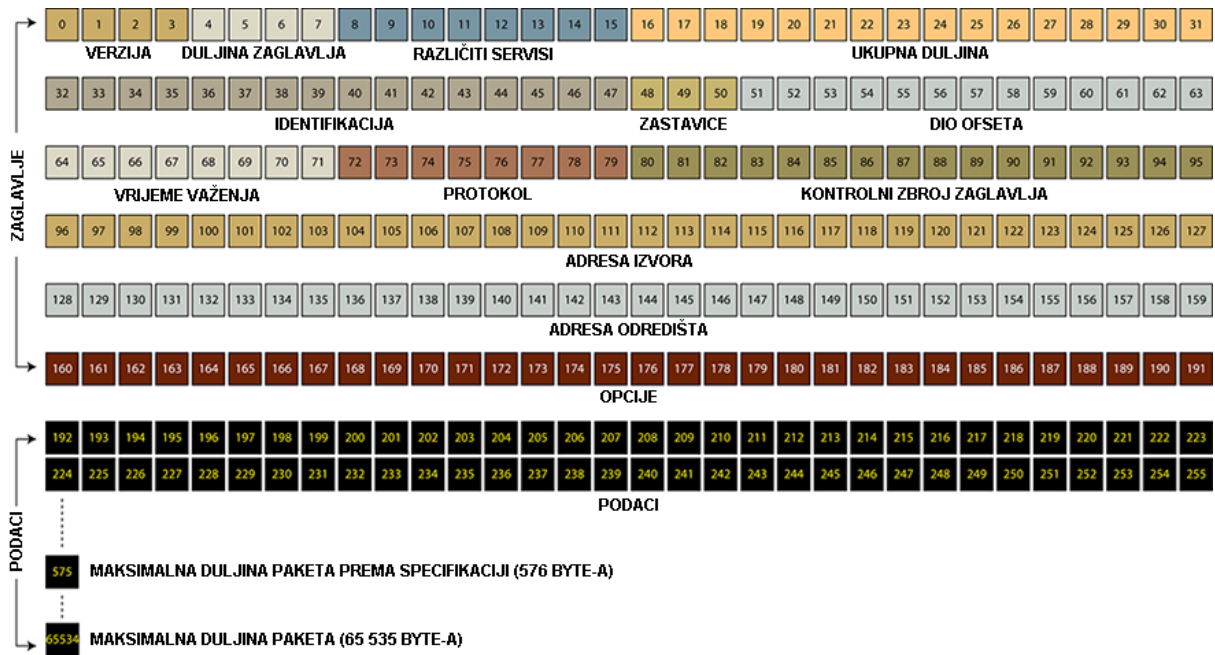


Slika 15. Prijenos i usmjeravanje paketa od izvora do odredišta<sup>14</sup>.

Sljedeća slika prikazuje kako funkcionira slanje više različitih informacija. Informacija se rastavlja na više paketa te svaki dobiva oznaku. Ukoliko se informacija prenosi asinkrono, prenosi se znak po znak, a ako dođe do sinkronog prijenosa, onda se prenose veliki blokovi podataka.

<sup>14</sup> (Podjela računalnih mreža,

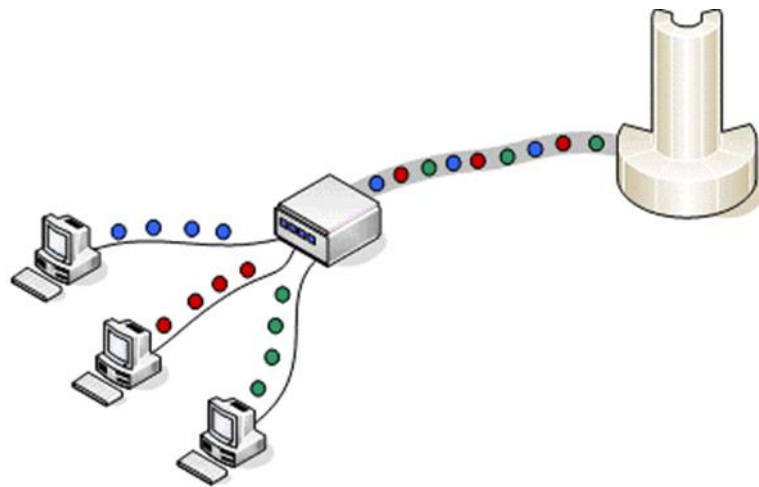
URL:[http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html), pristupljeno: 25.06.2021.)



Slika 16. Osnovna struktura IP (Internet Protocol) paketa

## 5. TEHNIKE MULTIPLEKSIRANJA KOJE SE KORISTE U 5G MREŽI

Multipleksiranje je postupak spajanja informacija iz više izvora u jedan signal putem zajedničkog medija. Mogu se multipleksirati analogni i digitalni signali. Multipleksiranje omogućuje prijenos velikog broja signala jednim medijem. To je tehnika u kojoj se nekoliko signala kombinira u složeni signal kako bi se oni mogli prenositi preko zajedničkog kanala. Kako bi se signali mogli prenositi zajedničkim kanalom, bitno ih je separirati kako bi se izbjegle smetnje između njih te kako bi se naposljetku mogli razdvojiti.

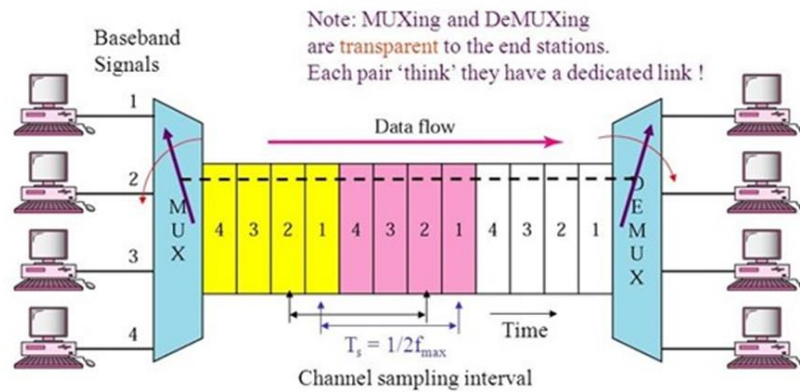


Slika 17. Prikaz tehnike multipleksiranja.

### 5.1. Tipovi multipleksiranja

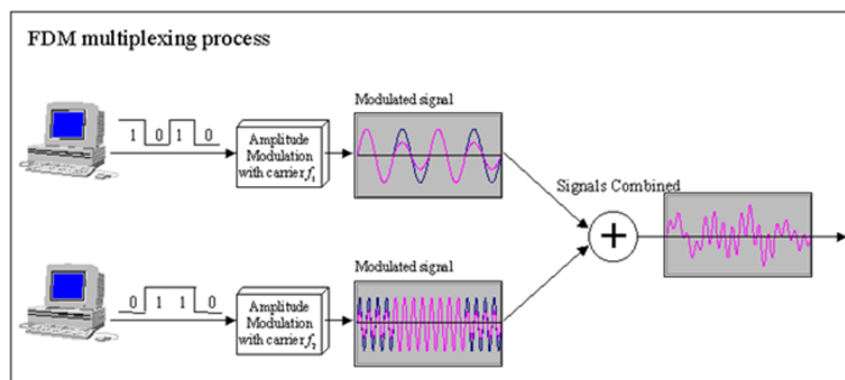
Multipleksiranje je moguće podijeliti u više tipova, a oni su sljedeći: frekvencijsko multipleksiranje (FDM – *Frequency Division Multiplexing*), multipleksiranje s podjelom po valnoj duljini (WDM – *Wavelength Division Multiplexing*), vremensko multipleksiranje (TDM – *Time Division Multiplexing*), statističko multipleksiranje (StDM – *Statistical Division Multiplexing*), kodno multipleksiranje (CDM – *Code Division Multiplexing*) te prostorno multipleksiranje (SpDM – *Space Division Multiplexing*).

TDM je tehnika prijenosa nekoliko signala preko jednog komunikacijskog kanala dijeljenjem vremenskog okvira u jednake utore. Preneseni je signal u mogućnosti zauzeti ukupnu širinu pojasa signala, dok će se svaki od signala prenijeti u određenom vremenskom razdoblju.



Slika 18. Prikaz TDM procesa<sup>15</sup>.

FDM (*Frequency Division Multiplexing*) tip je multipleksiranja u kojem se raspoloživi pojas frekvencija dijeli na određeni broj kanala. Funkcionira po principu da se jednoj ulaznoj grani u MUX te izlaznoj grani iz DEMUX-a dodjeljuje frekvencijski kanal. Nadalje, sam multipleksor jest sklopovlje koje proizvodi nekoliko nosača različitih frekvencija te koji modulira svaki nosioc s odgovarajućim slijedom bitova. On ujedno spaja modulirane nosioce u jedan signal. Demultipleksor je sklopovlje koje prima signal te ga raščlanjuje na modulirane nosioce, a potom reproducira odgovarajuće sljedove bitova. Slijedom navedenog, u kanal se smještaju modulirani signali za prijenos informacije. Iduća slika prikazuje FDM proces.



Slika 19. Prikaz FDM procesa.

WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), tehnika je kojom se ostvaruje prijenos podataka na različitim valnim duljinama. U odnosu na FDM, WDM referencira valnu duljinu svjetlosti. Obzirom na to da valna duljina i frekvencija imaju obrnuti odnos (kraća valna duljina znači veću frekvenciju), može se zaključiti da su WDM i FDM identični. WDM dijeli

<sup>15</sup> (<https://slidetodoc.com/chapter-6-bandwidth-utilization-multiplexing-and-spreading-kyung/>)

širinu optičkih vlakana u niz nepreklapajućih valnih duljina, a potom kombinira sve ulazne signale različitih valnih duljina koji se prenose preko zajedničkog kanala.

CDM (*Code Division Multiplexing*) tip je multipleksiranja u kojem se kombinira više podatkovnih signala za istodobni prijenos preko zajedničkog frekvencijskog pojasa. Koristi komunikaciju u proširenom spektru, a uskopojasni signal širi se na veliki frekvencijski opseg.

## 5.2. Multipleksiranje u 5G mreži

Obzirom na prisutnost tehnoloških problema u vidu kontrole prostiranja radijskog signala 5G mreža u MIMO protokolu, trenutno se koriste prijelazna rješenja poput 5G NextGen CoreNetwork mreža. Također, bitno je istaknuti obilježja frekvencijskih pojaseva za radijsku bežičnu komunikaciju. Naime, brzina bežičnog prijenosa informacija i zauzetog frekvencijskog pojasa za emitiranje uglavnom je proporcionalna. Sukladno nepromijenjenoj tehnologiji prijenosa, povećanje brzine prijenosa moguće je ukoliko dođe do povećanja zauzetog frekvencijskog pojasa. Nadalje, postojeći resursi frekvencija koji se trenutno koriste u dostupnim i operativnim mobilnim mrežama (frekvencije manje od 5 GHz) nisu dostatne za zadovoljenje komunikacijskih zahtjeva. Iz tog razloga, 5G radijski sustavi koriste dijelove frekvencijskog spektra na višim frekvencijama.

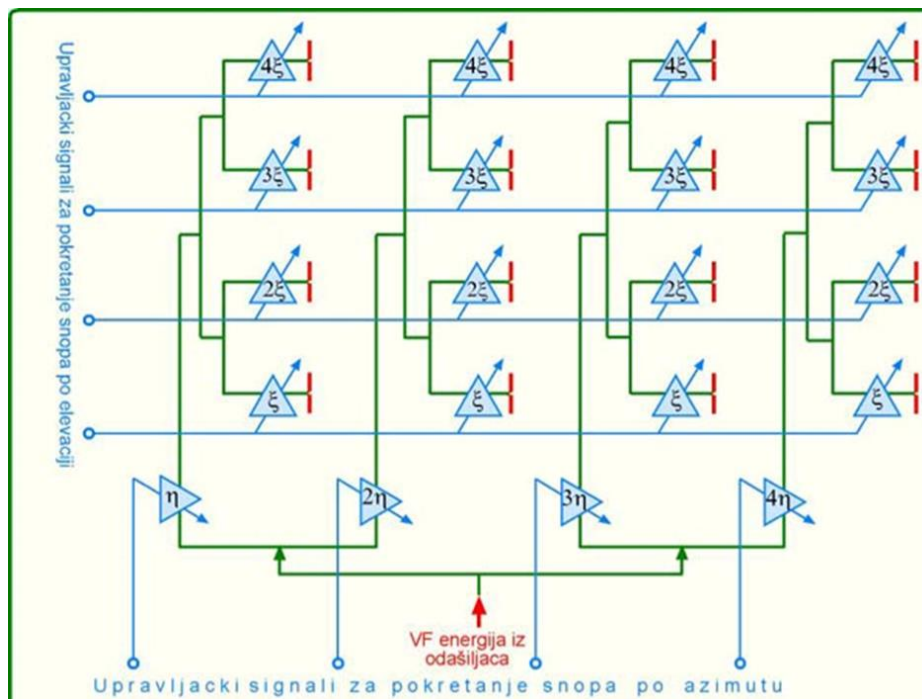
U 5G mreži, OFDM se koristi za nove bežične sustave s velikim brzinama prijenosa podataka. Koncept OFDM multipleksiranja pojavio se 1960-ih godina tijekom istraživanja metoda u svrhu smanjenja smetnji između usko raspoređenih kanala. OFDM, popularno je rješenje u širokopojasnom prijenosu zbog mogućnosti nadomještanja gubitka male količine informacije zaštitnim kodiranjem. Također, OFDM je otporniji na frekvencijsko blijeđenje negoli sustav s jednim nosiocem iz razloga što dijeli ukupni signal na više uskopojasnih signala [27]. OFDM koristi različite digitalne modulacije, no jedna od najčešćih jest kvadraturna amplitudna modulacija (QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*) kako bi stvorio komunikacijski sustav visoke brzine prijenosa. Naime, QAM se temelji na nizu specifičnih vrsta modulacija, a one su iduće: 16QAM (*16-state Quadrature Amplitude Modulation*) te 64QAM (*64-state Quadrature Amplitude Modulation*). Za učinkovito stvaranje valnog oblika vremenske domene u OFDM-u se koristi IFFT-a (*Inverse Fast Fourier Transform*). U pogledu pete generacije mobilnih mreža, NR standard koristi upravo OFDM. Naime, NR je dizajniran s visokim stupnjem fleksibilnosti s ciljem veće pokrivenosti raznolikih aplikacija. Sam razmak između nosioca varira od 15 kHz do 480 kHz, dok modulacija može biti 16QAM, 64QAM ili 256QAM. [9]

## 6. UPORABA ANTENSKIH NIZOVA I "PAMETNIH" ANTENA

Antena je uređaj koji elektromagnetsku energiju pretvara u elektromagnetski val usmjeren u slobodan prostor. Parametri antene su polarizacija, dijagram zračenja, impedancija, usmjerenost, širina snopa, kut usmjerenosti i najvažniji, rezonantna frekvencija. Antene se mogu podijeliti u više skupina, najčešće ovisno o frekvenzijskom opsegu djelovanja i njenoj namjeni. Također, jedna od bitnih karakteristika antene je usmjeravanje zračenog elektromagnetskog polja.

Antenski niz je sustav koji se sastoji od nekoliko vrlo sličnih ili identičnih antena poredanih u krug (kružni niz), duž ravne linije (linearni niz) ili na ravnoj površini. Antenski nizovi mogu se podijeliti prema međusobnom prostornom položaju elemenata.

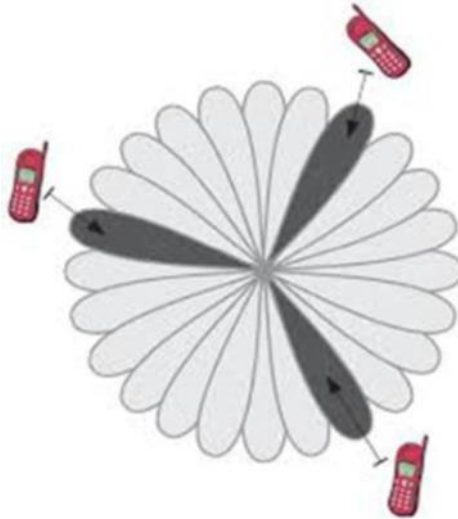
Zaključno, rezultanto polje u određenoj točki ovisi o veličinama struja, faznim razlikama te električnom razmaku između dipola ili mikrotrakastih antena. Uz pomoć upravljivih regulatora snage i zakretača faze, iznos struje napajanja i međusobni fazni odnos moguće je promijeniti.



Slika 20. Prikaz ravnog antenskog niza<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> (Antenski nizovi, URL:<https://hrvatski-vojniki.hr/antenski-nizovi-usmjeravaju-zracene-elektromagnetske-valove/>, pristupljeno: 26.06.2021.)

*Smart*, odnosno pametna antena, ima mogućnost digitalne obrade signala s obzirom na njegovu okolinu. Počele su se koristiti 1970-ih godina u vojne svrhe kao protumjere električnom ometanju signala. Njihov način rada temelji se na tome da digitalan procesor izračunava smjer dolaska signala izračunavajući vremenski razmak udaranja signala u antenske elemente. Glavni dijelovi pametnih antena su prijammnik i predajnik.



*Slika 21. Primjer pametne antene<sup>17</sup>.*

Prednosti pametnih antena su povećani kapacitet, doseg i sigurnost. Također, bazne stanice mogu biti udaljenije te će svejedno kvaliteta signala biti zadovoljavajuća. Nedostatak ove vrste antena predstavlja komplicirana izvedba primopredajnika. Zahtjeva vrlo jake bazne kontrolne sustave što je vrlo često novčano zahtjevno.

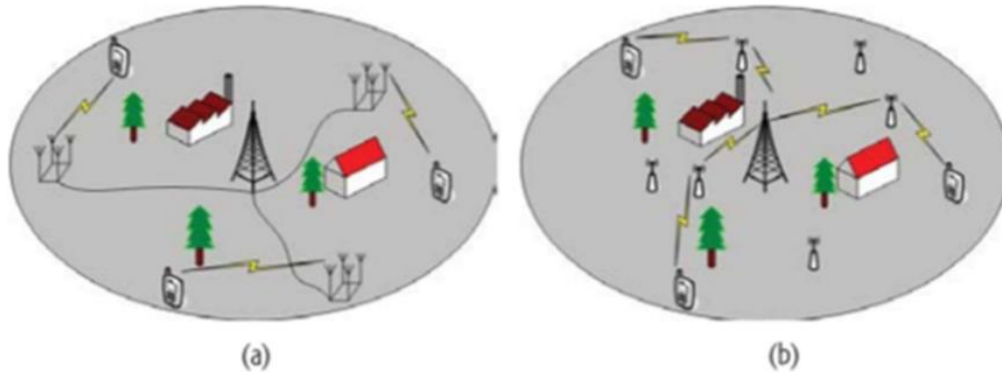
Najpoželjnija tehnika u 5G mobilnim komunikacijskim sustavima postala je komunikacija u milimetarskom frekvencijskom području. Ona je uspješno provedena unutar zatvorenih prostora dok je ograničena u vanjskom okruženju. Radi ravnomjernog dobitka u glavnom smjeru zračenja, kružni dizajn antena pokazao se kao najpogodniji. Inače, za 5G mrežu, elementi antena mogu biti posloženi su u obliku križa, kruga, šesterokuta ili pravokutnika. Prema dosadašnjim istraživanjima, dizajn antene s kružno postavljenim elementima pokazao se kao najbolji radi ravnomjernog dobitka u smjeru zračenja s različitim kutovima. Dobitak antenskog niza proporcionalan je površini antenskog niza. Kružni antenski niz otporan je na promjene kutova zbog vibracije koje su najčešće uzrokovane prolascima vozila, vjetrom i drugim vanjskim uvjetima.

---

<sup>17</sup> (Balanis, C., A., et al., 2007.)



Gusta urbana područja predstavljaju veliki izazov širenju signala. Smanjenje gustoće snage uzrokovano je neravnim terenom, preprekama i modernim zgradama. U takvim područjima, umjesto centraliziranog antenskog sustava koristi se više manjih antenskih nizova, na primjer šesnaest pojedinačnih 4 x 4 antenskih nizova. Na slici 23 prikazan je distribuirani antenski sustav.

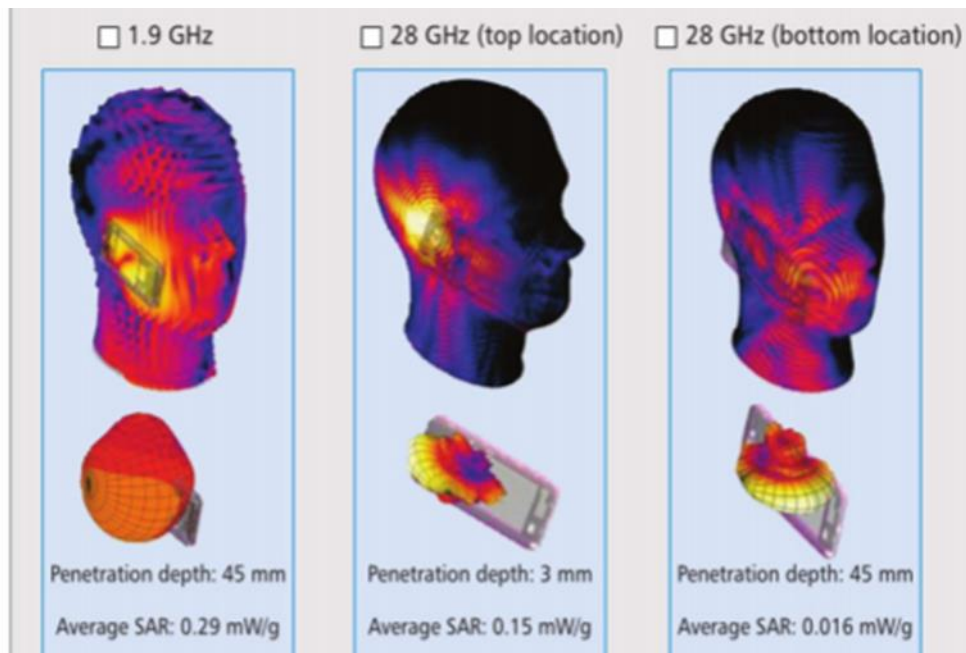


Slika 22. Prikaz ćelijske mreže: a) sustav sa zajedničkim centraliziranim kontrolerom; b) distribuirani antenski sustav<sup>18</sup>.

Podjelom prijenosne snage na manje antenske nizove, električna snage se može efektivno smanjiti dok se značajno poboljšava pokrivenost, pouzdanost i dostupna mrežna propusnost.

Elektromagnetsko neionizirajuće zračenje ima utjecaj na ljudsko tijelo, međutim loš učinak će imati tek ako je ljudsko tijelo predugo izloženo tom zračenju. Glavni čimbenici koji utječu na zračenje antene su snaga odašiljanja te dijagram zračenja antene. Svaki mobilni uređaj mora proći standardizirani test apsorpcije elektromagnetskog zračenja prije nego što se može izdati certifikat za njegovu uporabu. Dopuštena razina apsorpcije elektromagnetskog zračenja za 5G milimetarsko područje još ne postoji stoga se uspoređuju razine apsorpcije elektromagnetskog zračenja za 5G milimetarsko područje s 3G i 4G mobilnim uređajima. Prosječne razine izračunavaju se na prikazu ljudske glave, što je prikazano na slici 29. Elektromagnetska polja koja djeluju pri frekvenciji od 28 GHz lokalizirana su u odnosu na frekvencijski pojas 3G i 4G mreža. Njegova dubina prodiranja iznosi približno 3 mm. A kod emitiranja signala od 1,9 GHz, dubina prodiranja u kožu iznosi 45 mm. Zaključno, većina apsorbirane energije ograničena je na epiderm.

<sup>18</sup> (Zhang J, et al., 2017)



*Slika 23. Analiza i usporedna razina apsorpcije elektromagnetskog zračenja kod 4G i 5G milimetarskih antenskih sustava<sup>19</sup>.*

U Republici Hrvatskoj se primjenjuju određena pravila i načela za zaštitu od elektromagnetskog zračenja. Pravilnik je donesen od strane Ministarstva zdravstva Republike Hrvatske 2014. godine prema Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja.

<sup>19</sup> (GSM Network Architecture. Electronics Notes, URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm/network-architecture.php>, pristupljeno: 14. siječnja 2021.)

## 7. ZAKLJUČAK

Ljudska potreba za komuniciranjem, odnosno dijeljenjem informacija s drugima, zadovoljava se pomoću komunikacijskih sustava. Mobilne komunikacije nastale su iz želje za mobilnošću. S pojavom četvrte generacije, mobilna komunikacija postala je brža i sigurnija s minimalnim kašnjenjem.

Svaka nova generacija nastajala je upravo s ciljem poboljšanja od prethodne, što je također dovelo i do razvoja pete, aktualne, generacije koja koristi i milimetarsko područje valnih duljina elektromagnetskog spektra. Broj mobilnih korisnika svakim danom raste te su zahtjevi veći. Na teritoriju Republike Hrvatske, operateri mreža pokretnih komunikacija implementirali su petu generaciju koristeći dinamičko dijeljenje spektra, odnosno *Dynamic Spectrum Sharing*. Nadalje, za mobilne mreže pete generacije bitan je postupak multipleksiranja. Naime, to je tehnika za koju je karakteristično da se nekoliko signala kombinira u složeni signal kako bi se oni mogli prenositi preko zajedničkog kanala. 5G tehnologija preuzela je OFDM multipleksiranje iz 4G tehnologije. Naime, OFDM jest multipleksiranje s ortogonalnom frekvencijskom podjelom. Upravo se OFDM navodi kao najbolje rješenje u širokopojasnom prijenosu iz razloga što omogućuje nadomještanje gubitka manjih količina informacija pomoću zaštitnog kodiranja.

Glavna razlika između prethodne četvrte i navedene pete generacije mobilnih mreža je u omogućavanju većih brzina prijenosa. 5G omogućava veću brzinu prijenosa podataka, koja je postignuta uvođenjem novih tehnologija te promjenom mrežne arhitekture. 5G mreža koristi tehnologije koje su usvojene već u prethodnim generacijama. Iz samog se razvoja može zaključiti kako je razvoj svih generacija mobilnih mreža nastao kao rezultat unaprjeđenja već postojećih. Na planu 5G mobilne mreže, važno je za istaknuti kako svakako postoji mnogo prostora za istraživanje te modifikacije istog sustava. Utjecati će na svaku industriju i skoro svaki aspekt ljudskog života.

## LITERATURA

- [1] Tedayoni R, Henten A, Sorensen, J. Mobile communications: On standards, classifications and generations. Telecommunications Policy; 2016.
- [2] Nitesh GS, Kakkar A. Generations of Mobile Communication. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. 2016; 3(6): 320-324.
- [3] 3G Mobile Communication Technology. Preuzeto sa: <https://www.elprocus.com/wp-content/uploads/2014/12/3G-mobile-Technology.pdf> [Pristupljeno: 21. ožujka 2021.].
- [4] Burazer B. Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije. Zagreb: Hrvatski zavod za norme.
- [5] HAKOM. 5G mreža u Hrvatskoj. Preuzeto sa: 10345<https://www.hakom.hr/default.aspx?id=10345> [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.].
- [6] Europska komisija. Što možemo očekivati od nove 5G tehnologije? Preuzeto sa: [https://ec.europa.eu/croatia/content/what\\_can\\_we\\_expect\\_from\\_new\\_5G\\_technology\\_hr](https://ec.europa.eu/croatia/content/what_can_we_expect_from_new_5G_technology_hr) [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.].
- [7] Ericsson. 5G spreman za korištenje. Preuzeto sa: [https://www.ericsson.hr/documents/20181/131384/5G\\_spreman.pdf/b91ada4d-ed5e-47e4-a9fa-d5336845c070](https://www.ericsson.hr/documents/20181/131384/5G_spreman.pdf/b91ada4d-ed5e-47e4-a9fa-d5336845c070) [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.].
- [8] Prijenos podataka – Celularne bežične mreže. Preuzeto sa: [http://es.elfak.ni.ac.rs/rmif/Materijal/Novo%20Materijal/Pogl-12-Celul%20i%20bez%20mreze%20\(268-295\)-ekstenzija7.pdf](http://es.elfak.ni.ac.rs/rmif/Materijal/Novo%20Materijal/Pogl-12-Celul%20i%20bez%20mreze%20(268-295)-ekstenzija7.pdf) [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.].
- [9] The basics of 5G's modulation, OFDM. 5G technology world. Preuzeto sa: <https://www.5gtechnologyworld.com/the-basics-of-5gs-modulation-ofdm/> [Pristupljeno: 25. travnja 2021.].
- [10] Sertić, M. Analiza i usporedba 5G mreže s tehnologijama mobilnih mreža ranijih generacija. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 2019. (završni rad)
- [11] Korman, M. Peta generacija mobilnih mreža i razvoj Fintech industrije. Zagreb: Ekonomski fakultet; 2020. (završni rad)
- [12] Stefanović, R. Osnovne karakteristike mobilnih sistema treće generacije i trendovi daljeg razvoja. Vojnotehnički glasnik. Beograd: Vojna akademija; 2008.

- [13] Vukelić, V. Pokretne mreže pete generacije – pregled trenutnog stanja i smjernice budućeg razvoja. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 2016. (završni rad)
- [14] Tahiri, D. Uvođenje 5G mreže s osvrtom na pravni okvir. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2020. (diplomski rad)
- [15] Fundak, D. 5G mobilni komunikacijski sustavi. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, 2016. (završni rad)
- [16] Livaja, I. Utjecaj 5G mreže na internet stvari. Šibenik: Veleučilište u Šibeniku; 2020.
- [17] Bartolić, J., Zentner, E. Tehnologija mikrotrakastih antena. Zagreb: Elektrotehničko društvo Zagreb; 1991.
- [18] GSM Network Architecture. Electronics Notes. Preuzeto sa: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm/network-architecture.php> [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.]
- [19] Zhang J, Ge X, Li Q, Guizani M, Zhang Y. 5G millimeterwave antenna array: design and challenges. *IEEE Wireless Communications*. 2017; 24(2)
- [20] Wonbin H, Kwang-Hyun B, Youngju L, Yoongeon K, Seung-Tae K. Study and prototyping of practically large-scale mmwave antenna systems for 5G cellular devices. *IEEE Communications Magazine*. 2014; 52(9).
- [21] Tomić, D. Ubrzani razvoj 5G mreža. *ICT Business*, 2015. Preuzeto sa: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/ubrzani-razvoj-5g-mreza> [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.]
- [22] SDX Central. What is 5G Network Slicing?. 2018. Preuzeto sa: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-network-slicing/> [Pristupljeno: 16. siječnja 2021.]
- [23] Podjela računalnih mreža. Preuzeto sa: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_4.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_4.html) [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.]
- [24] Osnovna mrežna terminologija. Preuzeto sa: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje\\_1\\_1.html#topologijaf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/ramr/poglavlje_1_1.html#topologijaf) [Pristupljeno: 14. siječnja 2021.]
- [25] What are Orthogonal and Non-Orthogonal Multiplexing Techniques in 5G? *Techtrained*. Preuzeto sa: <http://www.techtrained.com/what-are-the-multiplexing-techniques-in-5g/> [Pristupljeno: 24. siječnja 2021.]

- [26] Understanding the development of 5G mobile technology. Telco Solutions. Preuzeto sa: <https://www.telcosolutions.net/post/understanding-the-development-of-5g-mobile-technology> [Pristupljeno: 23. ožujka 2021.].
- [27] Nandalal, V. et al. Multiplexing. Tamilnadu: Department of Electronics and Communication Engineering, 2019. Preuzeto sa: <file:///C:/Users/lenovo-ideapad320/Downloads/Multiplexing.pdf> [Pristupljeno: 21. ožujka 2021.].
- [28] What is OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Electronics Notes. Preuzeto sa: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/ofdm-orthogonal-frequency-division-multiplexing-what-is-tutorial-basics.php> [Pristupljeno: 23. ožujka 2021.].
- [29] Maček, S. Razvoj i karakteristike mreže pete generacije. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2016. (završni rad)

## POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Evolucija mobilnih mreža. ....	2
Slika 2. Beamforming tehnika u 5G tehnologiji. ....	8
Slika 3. Prikaz mogućnosti koje nudi 5G mreža. ....	9
Slika 4. Prikaz mrežnog rezanja. ....	11
Slika 5. Prikaz glavne razlike između koncepta NFV-ove mrežne arhitekture i tradicionalnog koncepta. ....	12
Slika 6. Prikaz glavne razlike između koncepta SDN mrežne arhitekture i tradicionalnog koncepta. ....	12
Slika 7. Difuzijski tip prijenosa na primjeru sabirnice. ....	15
Slika 8. Difuzijski tip prijenosa na primjeru prstena. ....	15
Slika 9. Mreža od točke do točke. ....	16
Slika 10. Prospajanje linijom. ....	16
Slika 11. Odnosi između mreža. ....	17
Slika 12. Zvezdasta topologija. ....	19
Slika 13. Isprepletana topologija. ....	19
Slika 14. Stablasta topologija. ....	20
Slika 15. Prijenos i usmjeravanje paketa od izvora do odredišta. ....	21
Slika 16. Osnovna struktura IP (Internet Protocol) paketa. ....	22
Slika 17. Prikaz tehnike multipleksiranja. ....	23
Slika 18. Prikaz TDM procesa. ....	24
Slika 19. Prikaz FDM procesa. ....	24
Slika 20. Prikaz ravnog antenskog niza. ....	26
Slika 21. Primjer pametne antene. ....	27
Slika 22. Prikaz ćelijske mreže: a) sustav sa zajedničkim centraliziranim kontrolerom; b) distribuirani antenski sustav. ....	28
Slika 23. Analiza i usporedna razina apsorpcije elektromagnetskog zračenja kod 4G i 5G milimetarskih antenskih sustava. ....	29

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Svojstva mreža. ....	18
---------------------------------	----



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni 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 \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Tehnologije prijenosa podataka u mobilnim mrežama 5. generacije**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 31.8.2021 \_\_\_\_\_

Stanić Luiza  
(potpis)