

Primjena 5G mreže u medicini

Pažin, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:119:578775>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA 5G MREŽE U MEDICINI
APPLICATION OF 5G NETWORK IN MEDICINE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marko Periša

Student: Goran Pažin

JMBAG: 0135261815

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 22. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7157

Pristupnik: **Goran Pažin (0135261815)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Primjena 5G mreže u medicini**

Opis zadatka:

U radu je potrebno napraviti analizu tehničkih karakteristika 5G mreže te skicirati i opisati elemente arhitekture s ciljem primjene u području medicine.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Marko Periša

SAŽETAK

Razvoj 5G mreže te njenog tehničkog aspekta i arhitekture omogućuje njenu primjenu u području medicine. Brz prijenos podataka i minimalno kašnjenje 5G mreže omogućuju stvaranje novih i naprednih medicinskih aplikacija. Potencijal korištenja 5G mreže u medicini očit je u njezinoj sposobnosti da ubrza postavljanje dijagnoza, poboljša liječenje i poboljša općenito zdravstvenu skrb. Upotreba umjetne inteligencije i 5G mreže ima za cilj postaviti nove temelje zdravstva koji će u potpunosti zamijeniti dosadašnji način odnosa prema pacijentu ali i sam način otkrića novih zdravstvenih rješenja.

KLJUČNE RIJEČI: 5G mreža; medicina; arhitektura; razvoj; primjena

SUMMARY

The development of the 5G network and its technical aspects and architecture enables its application in the field of medicine. Fast data transfer and minimal latency of the 5G network enable the creation of new and advanced medical applications. The potential of using the 5G network in medicine is evident in its ability to speed up diagnosis, enhance treatment, and improves overall healthcare. The use of artificial intelligence and the 5G network aims to establish new foundations for healthcare, which will completely replace the traditional approach of treating the patient, as well as the discovery of new health solutions.

KEYWORDS: 5G network; medicine; architecture; development; application

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. KARAKTERISTIKE I ELEMENTI ARHITEKTURE 5G MREŽE | 3 |
| 2.1 Osnovni koncept mobilnih sustava..... | 6 |
| 2.2 Prva generacija (1G) mobilnih mreža | 8 |
| 2.3 Druga generacija (2G) mobilnih mreža..... | 10 |
| 2.4 Treća generacija (3G) mobilnih mreža..... | 13 |
| 2.5 Četvrta generacija (4G) mobilnih mreža | 14 |
| 2.6 Glavne značajke 5G mreže..... | 16 |
| 2.7 Elementi arhitekture 5G mreže..... | 19 |
| 3. RAZVOJ KONCEPTA INTERNET STVARI | 22 |
| 4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE 5G MREŽE I IoT KONCEPTA U PODRUČJU MEDICINE | 29 |
| 4.1 Rješenja za m-Zdravstvo korištenjem 5G mreža i M2M komunikacija | 30 |
| 4.2 5G tehnologija za e-Zdravstvo | 34 |
| 4.3 Primjena 5G mreže kod hitnih mobilnih zdravstvenih usluga | 36 |
| 4.4 Primjena 5G mreže u telemedicini | 44 |
| 4.4.1 Telerobotska kralježnička kirurgija..... | 45 |
| 4.4.2 Manipulacija tele-endovaskularnim stentom | 46 |
| 4.4.3 Telementorstvo | 46 |
| 4.4.4 Stimulacija kralježnice | 46 |
| 5. ANALIZA BUDUĆEG RAZVOJA SUVREMENIH TEHNOLOGIJA U PODRUČJU MEDICINE | 47 |
| 6. ZAKLJUČAK | 51 |
| Literatura | 52 |

Popis kratica55
Popis slika.....58
Popis tablica59

1. UVOD

U današnjem dobu brze komunikacije i neprestanog tehnološkog razvoja, 5G mreža je izronila kao tehnološka revolucija koja obećava preoblikovanje načina na koji se svijet povezuje. Ova nova generacija mrežne tehnologije ne samo da donosi znatno veće brzine prijenosa podataka već i transformira način na koji se čovjek integrira s digitalnim svijetom, iznova definirajući granice brzine, pouzdanosti i umreženosti.

Ovaj rad fokusira se na istraživanje primjene 5G mreže u kontekstu medicinske industrije, gdje se očekuje da će njezine karakteristike i mogućnosti izazvati značajan utjecaj. Pregledavajući ključne komponente arhitekture 5G mreže i istražujući razvoj koncepta Interneta stvari, koji se pokazao idealnim za sinergiju s 5G tehnologijom, otvara se put za istraživanje niza mogućnosti koje se pružaju u području medicine.

Ovaj završni rad je podijeljen na sljedeće cjeline:

1. Uvod
2. Karakteristike i elementi arhitekture 5G mreže
3. Razvoj koncepta Interneta stvari
4. Mogućnosti primjene 5G mreže i IoT koncepta u području medicine
5. Analiza budućeg razvoja suvremenih tehnologija u području medicine
6. Zaključak

U drugom poglavlju, detaljnije su istražene značajke i ključni elementi arhitekture 5G mreže. Spomenute su i ostale generacije mobilnih mreža te su ukratko navedene i njihove značajke.

Treće poglavlje posvećeno je razvoju koncepta Interneta stvari u kontekstu 5G mreže, te su navedene njegove prednosti i razlozi nastanka te sam tijekom razvoja Interneta stvari.

U četvrtom poglavlju, istražen je širok spektar mogućnosti primjene 5G mreže i IoT koncepta u medicini. Od telemedicine i praćenja vitalnih znakova do razvoja pametnih ambulatnih vozila, opisano je kako se ove tehnologije mogu integrirati u sve aspekte medicinske skrbi.

Analiza budućeg razvoja suvremenih tehnologija u području medicine predmet je petog poglavlja. Razmotreno je kako 5G mreža otvara vrata za daljnje inovacije.

2. KARAKTERISTIKE I ELEMENTI ARHITEKTURE 5G MREŽE

Peta generacija mobilnih mreža, poznata kao 5G, pruža brojne prednosti u usporedbi s prethodnom 4G tehnologijom. Njena iznimna brzina, koja je čak do 100 puta veća od 4G, stvara neviđene mogućnosti za pojedince i organizacije. Poboljšana brzina povezivanja, minimalna latencija i veća propusnost donose značajne promjene u društvu, transformirajući različite industrije i znatno unaprjeđujući svakodnevna iskustva.

Primjena 5G tehnologije omogućuje korištenje usluga koje su nekada bile rezervirane za futurističke scenarije. Primjerice, e-Zdravstvo postaje stvarnost, povezana vozila i prometni sustavi postaju efikasniji, a napredno mobilno igranje u oblaku pruža potpuno novo iskustvo. Uz pomoć 5G tehnologije, stvaraju se temelji za pametniju, sigurniju i održiviju budućnost. 5G mreža koristi iste radiofrekvencije koje se već koriste za pametne mobitele, Wi-Fi mreže i satelitske komunikacije, ali pruža znatno veće mogućnosti. Osim brzine koja omogućuje trenutno preuzimanje cijelog filma visoke rezolucije na pametni mobitel u nekoliko sekundi, 5G tehnologija omogućuje i povezivanje svega što čovjeka okružuje na pouzdan način, bez zastoja. To znači da ljudi mogu mjeriti, razumjeti i upravljati stvarima u stvarnom vremenu. Evolucija mobilne tehnologije dovela je do značajnih promjena od prvog do petog naraštaja (1G do 5G) [1].

Era 1G karakterizirala je ogromne telefone veličine aktovke te kratke razgovore koji su se odvijali između relativno malog broja osoba. Međutim, s porastom potražnje za mobilnim uslugama, 1G više nije zadovoljavao potrebe korisnika, što je otvorilo put za razvoj 2G tehnologije.

Dolazak 2G tehnologije označio je značajan skok u mobilnoj komunikaciji. Telefoni su postali manji i praktičniji, omogućujući širem krugu ljudi pristup mobilnim uslugama. Uz to, 2G je uveo SMS (*eng. Short Message Service*) poruke, što je revolucioniralo način komunikacije [1].

Slijedila je era 3G, u kojoj su se pojavile velike promjene. Telefoni su postali još kompaktniji, a korisnici su mogli uživati u mobilnom pristupu internetu. Ovo je označilo početak mobilnog internetskog doba, omogućavajući korisnicima pregledavanje web stranica i slanje e-pošte putem svojih mobilnih uređaja [2].

Nadalje, 4G tehnologija je značajno unaprijedila mobilnu komunikaciju. Pametni telefoni su postali svakodnevni alati, podržavajući trgovine aplikacija i pristup raznovrsnom sadržaju, poput

video putem platformi poput YouTube-a. Brža brzina prijenosa podataka i poboljšana kvaliteta veze poboljšali su korisničko iskustvo [1].

Trenutno se javlja velika prekretnice u obliku 5G tehnologije, koja potpuno transformira čovjekove profesionalne i osobne živote. Ova nova generacija mobilne mreže omogućava razne nove slučajeve upotrebe, uključujući povezana vozila, proširenu stvarnost te poboljšani video i igranje. 5G donosi veće brzine preuzimanja, minimalnu latenciju i širu propusnost, otvarajući vrata za inovacije i napredak na različitim područjima.

5G tehnologija donosi mnogo više od poboljšanja brzine internetske veze. Ona predstavlja temelj za revolucionarna rješenja koja imaju potencijal transformirati društvo u cjelini. Jedna od mogućnosti koju 5G pruža je umrežavanje velikog broja uređaja koji prikupljaju i dijele informacije u stvarnom vremenu. Na primjer, ovo omogućuje razvoj naprednih sustava koji mogu smanjiti broj prometnih nesreća. Pomoću 5G, vozila, prometni senzori i pametna infrastruktura mogu međusobno komunicirati u realnom vremenu, razmjenjujući ključne informacije o brzini, putanji i okolini, što omogućuje brzu reakciju i sprječavanje nesreća. Također, 5G tehnologija otvara vrata za razvoj aplikacija koje imaju potencijal spašavati živote. Brze i pouzdane mrežne veze bez kašnjenja omogućuju upotrebu daljinski upravljanih bespilotnih letjelica u hitnim situacijama, kao što su dostava lijekova ili medicinskih potrepština u teško dostupna područja. Ovakva tehnološka rješenja mogu biti od neprocjenjive važnosti u hitnim situacijama i spasiti živote [2].

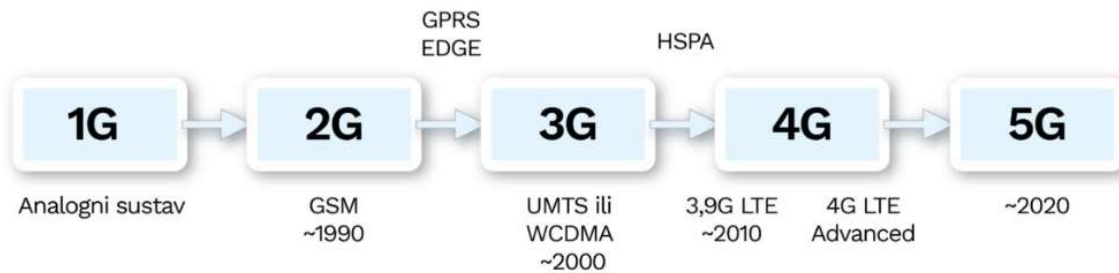
Industrijski sektor također ima koristi od 5G tehnologije. Stalna i pouzdana povezanost omogućuje visoko precizno praćenje proizvodnih linija i prikupljanje velike količine podataka u stvarnom vremenu. Na temelju tih podataka, umjetna inteligencija može analizirati obrasce i predvidjeti moguće kvarove ili prekide u proizvodnji, omogućujući poduzimanje preventivnih mjera prije nego što se problemi dogode. Ovo pomaže u povećanju efikasnosti, smanjenju troškova i poboljšanju cjelokupne produktivnosti industrijskih procesa.

5G tehnologija stvara velike mogućnosti koje prodiru u sve aspekte društva. Uz pametno povezane uređaje i pouzdane mrežne veze, može se postići napredak na područjima poput prometne sigurnosti, hitnih službi i industrije, stvarajući tako budućnost koja je sigurnija, učinkovitija i povezaniya nego ikada prije.

Razvoj mobilnih komunikacija pratio je napredak fiksnih komunikacija i postupno se usavršavao uz napredak tehnologije. U počecima mobilnih komunikacija, prijenos zvuka (glas) nije

bio moguć, već su se koristili znakovi zapisani Morseovim kodom. Prvi bežični prijenosi su se odvijali unutar zatvorenih organizacija poput policije i vojske, i usluge prijenosa informacija nisu bile dostupne širokom krugu ljudi. Ove rane bežične mreže mogu se smatrati privatnim mrežama. Značajan razvoj bežičnih mreža dogodio se u sedamdesetim i osamdesetim godinama prošlog stoljeća. Tada se počeo koristiti koncept ćelijskog planiranja i ponovne upotrebe frekvencija. Ovaj koncept uključuje sljedeće: komunikacija između dva pokretna uređaja ostvaruje se putem bazne postaje, koja također služi za povezivanje mobilnih uređaja s javnom fiksnom mrežom. Područje koje pokriva bazna postaja s odgovarajućom razinom signala naziva se ćelija. U početku su se ćelije razlikovale po frekvencijskim kanalima koje su koristile. Cilj je bio pokriti područje na kojem se nalaze korisnici s ćelijama koje ne ometaju jedna drugu, pružajući dovoljan kapacitet za pružanje usluga. Uvođenjem ovog koncepta, stvoren je temelj za prvu generaciju javnih mobilnih mreža (1G) [2].

Općenito, može se primijetiti da razvoj generacija mobilnih mreža prati otprilike desetogodišnji razmak. Prva generacija (1G) mobilnih mreža počela je razvijati oko 1980. godine, dok je najnovija, peta generacija (5G), postala dostupna oko 2020. godine. Slika 1. prikazuje kontinuirani napredak u mobilnim tehnologijama tijekom proteklih četrdesetak godina.



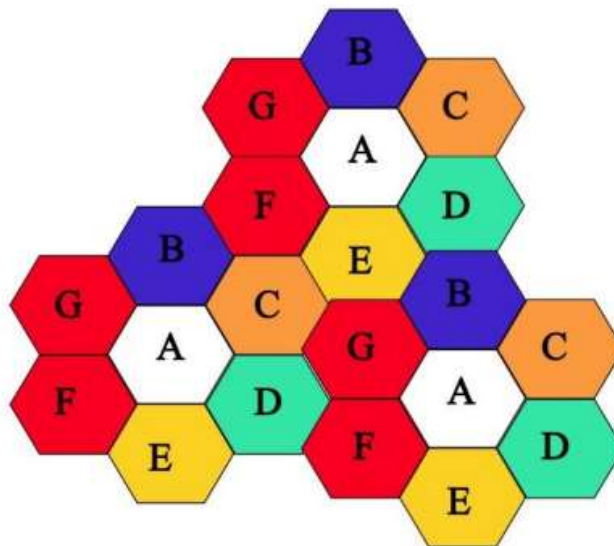
Slika 1. Evolucije mobilne tehnologije

Izvor: [2]

2.1 Osnovni koncept mobilnih sustava

Ključni uvjet za svaku mobilnu mrežu je visok kapacitet, a kako bi se taj uvjet ostvario, područje pokrivanja svake bazne stanice mora biti ograničeno na malu geografsku regiju koja se naziva ćelija. U cilju povećanja iskoristivosti i kapaciteta, iste frekvencije, vremenski isječci i kodovi se ponovno koriste tako da se bazne stanice prostorno odvajaju [3].

S obzirom na ograničenja frekvencijskog spektra, važna je učinkovita raspodjela frekvencija. Rješenje za to je alociranje ćelija koje koriste iste frekvencije na određenoj udaljenosti kako bi se izbjegla interferencija. Na slici 2. prikazano je da su sve ćelije jednako udaljene jedna od druge. Ovaj pristup omogućuje optimalnu upotrebu dostupnog spektra i osigurava pouzdanu mrežnu komunikaciju unutar svake ćelije [3].



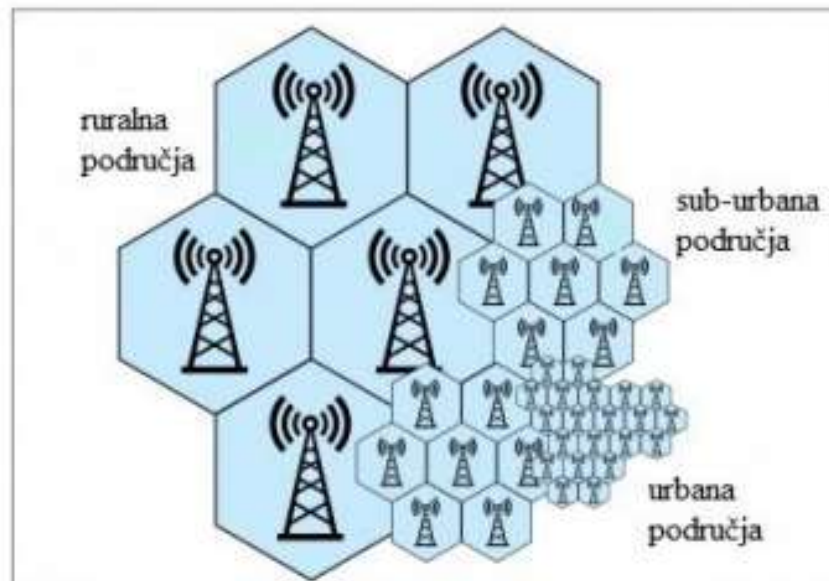
Slika 2. Prikaz ponovnog korištenja frekvencije u ćelijama

Izvor: [3]

Ovaj sustav se razlikuje od tradicionalnog radio-odašiljanja u kojem bi jedna ćelija pokrivala cijeli grad. U mobilnim mrežama, kako bi se omogućilo slobodno kretanje korisnika mobilnih telefona u željenom području, važno je omogućiti prijelaz iz jedne ćelije u drugu bez prekida komunikacije. Taj proces se naziva *handover*. Bazna stanica s kojom je korisnik trenutno povezan neprestano prati jačinu signala mobilnog uređaja. Ako ta bazna stanica primi informaciju od susjedne bazne stanice da

korisnik ima bolji signal kod njih, koristeći kontrolne poruke vrše dogovor i korisnik se prebacuje na baznu stanicu s jačim signalom [3].

U ruralnim područjima može biti potrebno manje ćelija u usporedbi s urbanim područjima kao što se vidi na slici 3. Veće ćelije se mogu podijeliti na manje pod-ćelije kako bi se osigurala stabilnost i kapacitet za sve korisnike u gusto naseljenim gradskim područjima. Ova prilagodba ćelija i pod-ćelija omogućuje optimalno pokrivanje i efikasnu komunikaciju u različitim okruženjima [3].



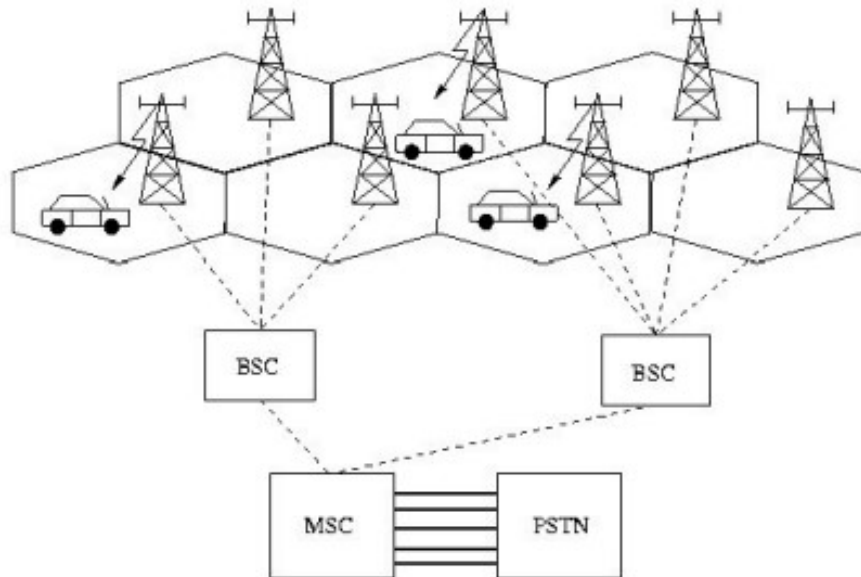
Slika 3. Koncept podjele ćelija

Izvor: [3]

Bazne stanice u mobilnim mrežama komuniciraju međusobno i s mobilnim komutacijskim centrom MSC (*eng. Mobile Switching Centre*), koji je direktno povezan s javnom telefonskom mrežom PSTN (*eng. Public Switched Telephone Network*). Ovaj sustav omogućuje korisnicima uspostavu komunikacije s drugim korisnicima, bez obzira na to jesu li žično ili bežično dostupni [3].

Na slici 4. prikazan je primjer ove komunikacijske mreže. Korisnik može uspostaviti komunikaciju putem bazne stanice, koja zatim komunicira s drugim baznim stanicama kako bi se povezao s određivim korisnikom. Ta veza se uspostavlja preko mobilnog komutacijskog centra, koji osigurava integraciju mobilne mreže s javnom telefonskom mrežom. Na taj način, korisnik može

ostvariti komunikaciju s bilo kojim drugim korisnikom, bez obzira na to je li taj korisnik dostupan putem žične ili bežične veze.



Slika 4. Telekomunikacijski sustav

Izvor: [3]

2.2 Prva generacija (1G) mobilnih mreža

Prva generacija (1G) mobilnih mreža predstavlja početak razvoja bežičnih telekomunikacija. Nastala je 1979. godine u Japanu od strane tvrtke NTT (*eng. Nippon Telegraph and Telephone*). Prva 1G mreža u Europi počela je s radom 1981. godine putem tvrtke NMT (*eng. Nordic Mobile Telephone*). U Sjedinjenim Američkim Državama, prva 1G mreža je pokrenuta 1983. godine od strane tvrtke Ameritech sa sjedištem u Chicagu, koristeći Motorola DynaTAC mobilni telefon. U Hrvatskoj, 1G mreža poznata pod imenom "Mobitel" počela je s radom 11. siječnja 1991. godine [4].

Najznačajniji nedostatak 1G mreže bio je njen analogni radio sustav koji je ograničavao korisnike na samo glasovne pozive, dok slanje poruka nije bilo moguće. Da bi 1G mreža funkcionirala,

morali su se izgraditi telefonski stupovi diljem zemlje kako bi se postigla šira pokrivenost signala. Međutim, 1G mreža je bila nepouzdana i imala je sigurnosne probleme, uključujući smetnje od drugih radio signala, česte probleme s pokrivenošću stanica i nedostatak šifriranja koji je olakšavao *hakiranje*. Također, 1G mreža nije imala jedinstveni globalni standard, već su se različiti dijelovi svijeta oslanjali na različite norme i mreže koje nisu bili međusobno kompatibilne. Neki od sustava prve generacije bili su AMPS (*eng. Advance Mobile Phone Systems Service*) (u SAD-u, Kanadi, Centralnoj i Južnoj Americi, Australiji), NMT 450 i 900 (u Danskoj, Finskoj, Norveškoj, Francuskoj, Njemačkoj, Rusiji, Španjolskoj, Nizozemskoj) te NTT, NTACS i JTACS u Japanu. U Hrvatskoj se koristila NMT 450 mreža pod nazivom "Mobitel" [4].

Prva generacija mobilnih mreža koristila je analogni sustav s višestrukim pristupom u frekvencijskoj podjeli FDMA (*eng. Frequency Division Multiple Access*). Ovom tehnikom se ostvarivala komunikacija kroz dodjelu posebnih frekvencija za svaki komunikacijski kanal u radijskoj pristupnoj mreži RAN (*eng. Radio Access Network*). Različiti frekvencijski pojasevi su dodijeljeni za komunikaciju prema korisniku (*downlink*) i komunikaciju od korisnika prema mreži (*uplink*). FDMA tehnika se koristila za prijenos glasa i signalizacije [3].

Najznačajniji sustavi prve generacije (1G) kao što je već spomenuto bili su AMPS u Sjedinjenim Američkim Državama i NMT u Europi. AMPS je radio na višim frekvencijama u usporedbi s NMT-om i pružao je veći broj kanala za komunikaciju. Osnovna obilježja ovih sustava su prikazana u tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike standarda –1G

| STANDRAD | Frekvencija (MHz) | Razmak kanala (kHz) | Broj kanala |
|--------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| NMT 450 | 453 – 457,5 | 25 | 180 |
| | 463 – 467,5 | | |
| AMPS | 824 – 849 | 30 | 832 |
| | 869 - 894 | | |

Izvor: [3]

Tablica 1. prikazuje ključne značajke povezane s prvom generacijom mobilnih mreža. Ova tablica ilustrira promjene koje su se događale između različitih sustava prve generacije te njihov napredak kroz povećanje frekvencijskog područja, broja radio kanala, širine kanala, dupleksnog razmaka i veličine ćelija. Sav taj napredak imao je za cilj poboljšanje kvalitete telekomunikacijskih usluga, a nužni su bili kako bi se odgovorilo na rastući broj korisnika.

Sustavi prve generacije imali su ograničenu razinu sigurnosti i kvalitete signala. Omogućavali su samo glasovne pozive, imali su ograničen kapacitet mreže te nisu imali veliko područje pokrivanja signalom. To su glavni razlozi koji su potaknuli razvoj novih generacija mobilnih mreža [3].

2.3 Druga generacija (2G) mobilnih mreža

Druga generacija mobilnih mreža (2G) predstavlja značajan napredak u odnosu na prvu generaciju. Uvedena je 1990-ih godina i donijela je digitalnu komunikaciju, omogućavajući ne samo glasovne pozive, već i slanje poruka i prijenos podataka [3].

Dva glavna pristupa za multipleksiranje kanala koji su se koristili u 2G sustavima su TDMA (*eng. Time Division Multiple Access*) i CDMA (*eng. Code Division Multiple Access*). U Europi i većem dijelu svijeta uveden je GSM (*eng. Global System for Mobile Communications*) s ciljem stvaranja jedinstvenog svjetskog standarda. Kapacitet GSM sustava proširen je u frekvencijskom području od 1800 MHz putem DCS (*eng. Digital Communication System*) sustava. Karakteristike GSM sustava opisane su u tablici 2.

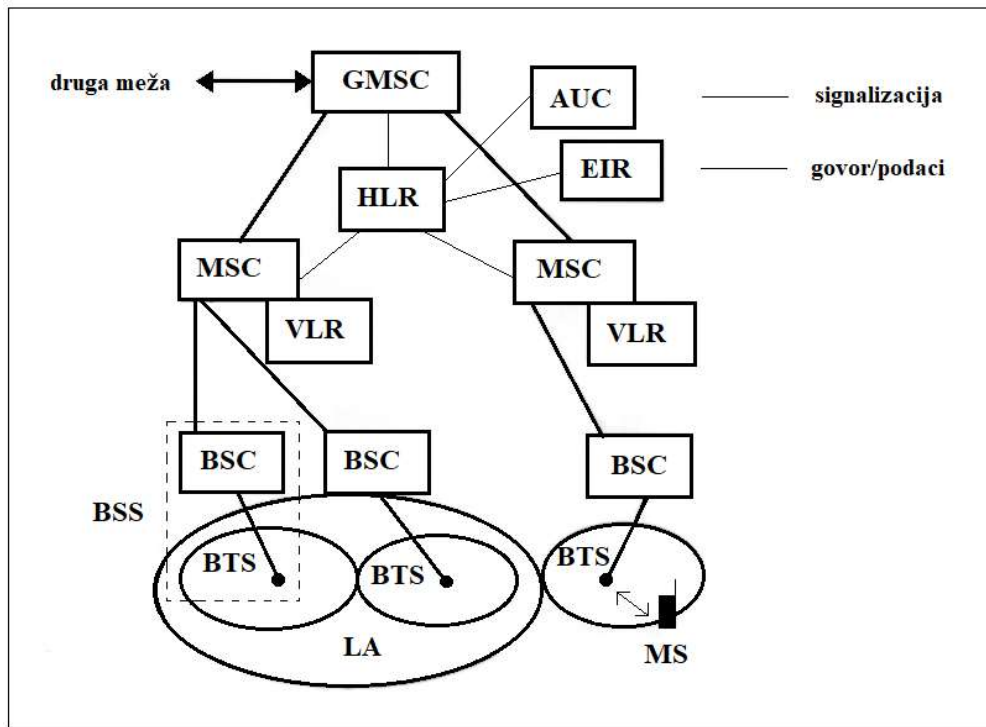
Tablica 2. Karakteristike standarda –2G

| STANDRAD | Frekvencija (MHz) | Razmak kanala (kHz) | Broj kanala |
|----------------------------|---|------------------------|-------------|
| GSM 900 | 890 – 915 | 200 | 992 |
| DSC 1800 (TDMA) | 935 – 960 1710 – 1785 1805 - 1880 | 200 | 2292 |
| D-AMPS | 824 – 849 869 - 894 | 30 | 832 |

Izvor: [3]

Prelaskom na novi sustav u drugoj generaciji mobilnih mreža, koristimo više frekvencija i povećavamo broj kanala. Iz tablice 2. vidi se da D-AMPS sustav koristi iste frekvencije kao i AMPS, ali s različitim razmakom kanala i digitaliziranim kanalima umjesto analognih. U Sjedinjenim Američkim Državama su 1991. godine predstavljeni standardi IS-54 (Digital AMPS), koji je 1996. zamijenjen s IS-136. Obje verzije koriste hibridni pristup FDMA i TDMA [3].

Glavni standard koji je obilježio 2G generaciju je GSM koji je bio prvi globalni standard za mobilne komunikacije i omogućavao je komunikaciju putem digitalnog signala. Uveden je 1991. godine i koristi multipleksiranje kanala putem TDMA tehnike. GSM je omogućio veći kapacitet mreže, poboljšanu sigurnost i kvalitetu signala te podršku za slanje SMS poruka [3].



Slika 5. Arhitektura GSM-a

Izvor: [3]

Slika 5. prikazuje arhitekturu GSM-a koja je jedan od standarda za 2G mobilne mreže. Na slici se vidi različite komponente GSM mreže i njihovi međusobni odnosi.

GMSC (eng. *Gateway Mobile Switching Centre*): Prilazni pokretni komutacijski centar koji ima ulogu povezivanja s drugim mrežama i omogućavanja pristupa GSM mreži.

MSC (*eng. Mobile Switching Centre*): Prilazni komutacijski centar koji povezuje GMSC i BSS (*eng. Base Station Subsystem*). MSC obavlja funkcije kao što su usmjeravanje poziva, upravljanje vezama i prekidanje veza.

BSS: Sastoji se od BCS-a (*eng. Base Station Controller*) i BTS-a (*eng. Base Transceiver Station*). BCS upravlja s više BTS-ova koji sadrže antenske sustave za bežičnu komunikaciju s mobilnim stanicama.

HLR (*eng. Home Location Register*): Domaći lokacijski registar koji sadrži informacije o pretplatnicima, njihovim uslugama i lokaciji.

VLR (*eng. Visitor Location Register*): Gostujući lokacijski registar koji je dio svakog MSC-a. Sadrži privremene informacije o mobilnim stanicama koje se trenutno nalaze u mreži.

AUC (*eng. Authentication Center*): Centar za provjeru autentičnosti koji sadrži autentifikacijske ključeve za provjeru pretplatnika prilikom poziva.

EIR (*eng. Equipment Identification Register*): Registar za identifikaciju opreme koji provjerava serijske brojeve mobilnih uređaja kako bi se provjerilo jesu li uređaji u vlasništvu pretplatnika [3].

Ova arhitektura GSM-a omogućuje usluge kao što su SMS, prijenos podataka i pozivi u 2G mreži. Uz GSM koristili su se i drugi standardi poput AMPS u Sjedinjenim Američkim Državama i NMT u Europi. AMPS je koristio analogni sustav, dok je NMT bio prvi digitalni sustav u Europi. Kasnije su uvedene nadogradnje 2G sustava kao što su GPRS (*eng. General Packet Radio Service*) i EDGE (*eng. Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). GPRS je bio prvi korak prema mobilnom prijenosu podataka i omogućio je slanje SMS poruka, MMS (*eng. Multimedia Messaging Service*) poruka i e-mailova. EDGE je poboljšao brzinu prijenosa podataka unutar GSM arhitekture, omogućujući brzine do 384 kbit/s [4].

2G mreže su omogućile veću spektralnu učinkovitost, bolje korištenje radiofrekvencijskog spektra, veći broj korisnika po frekvencijskom pojasu i poboljšane usluge kao što su slanje poruka i prijenos podataka. GSM standard je i danas u upotrebi u mnogim zemljama, s nadogradnjama poput GPRS-a, EDGE-a i drugih tehnologija.

2.4 Treća generacija (3G) mobilnih mreža

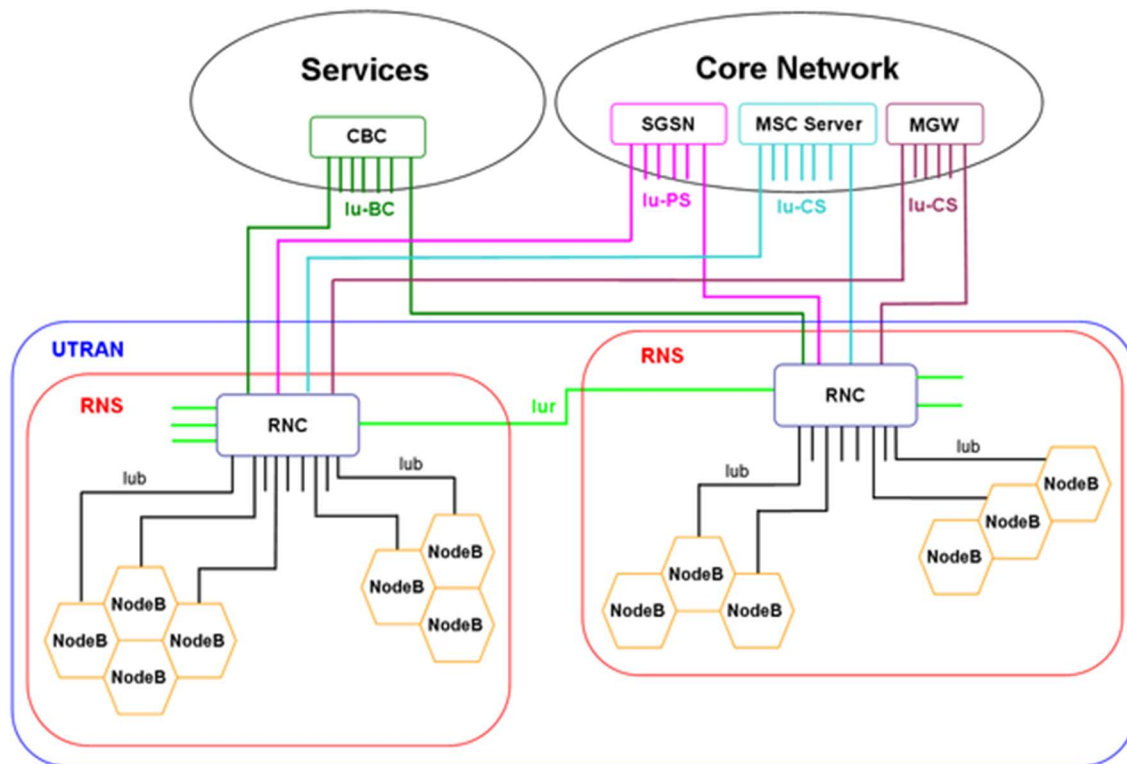
Treća generacija mobilnih mreža (3G) je lansirana 2001. godine od strane tvrtke NTT DoCoMo u Japanu. 3G je predstavljao značajan napredak u odnosu na prethodnu 2G tehnologiju. Ova generacija je omogućila brži prijenos podataka i pružila mogućnosti poput video poziva, dijeljenja datoteka, pristupa internetu i igranja online igara na mobilnim telefonima. 3G je koristio tehnologiju širokopojasnog višestrukog pristupa po kodu WCDMA (*eng. Wideband Code Division Multiple Access*) i omogućavao brzinu prijenosa informacija od najmanje 144 kbit/s [3].

Nadalje, 3.5G je skup tehnologija dizajniranih za poboljšanje performansi 3G mreže. Uključuje tehnologiju HSPDA (*eng. High-Speed Downlink Packet Access*) koja omogućava brzinu prijenosa do 384 kbit/s [4].

3.75G generacija, poznata kao HSPA+ (*eng. Evolved High-Speed Packet Access*), predstavlja unaprijeđenu verziju HSPA tehnologije koja poboljšava 3G mrežu i pruža podršku za razvoj 4G mreže. Brzine prijenosa podataka u HSPA+ mreži mogu doseći do 42,2 Mbit/s [4].

3.9G/3.95G generacija, također poznata kao LTE (*eng. Long Term Evolution*), danas je dominantna tehnologija za širokopojasni bežični pristup. LTE je prvi put predstavljen 2004. godine i unatoč tome što se često naziva 4G, tehnički pripada 3G generaciji. Brzine prijenosa podataka u LTE mreži mogu doseći do 300 Mbit/s za preuzimanje i 75 Mbit/s za slanje [4].

Na slici 6. je opisana arhitektura UMTS-a (*eng. Universal Mobile Telecommunications System*) koja koristi RNS (*eng. Radio Network Subsystem*) kao osnovni element za pružanje radijske veze između korisničkih terminala i UTRAN-a (*eng. Universal Terrestrial Radio Access Network*). UMTS također koristi UTRA (*eng. Universal Terrestrial Radio Access*) sučelje s dvije različite metode rada: FDD (*eng. Frequency Division Duplex*) i TDD (*eng. Time Division Duplex*). HSPA je nadogradnja UMTS sustava koja omogućuje brzine prijenosa do 14,4 Mbit/s za silazni prijenos i 5,75 Mbit/s za uzlazni prijenos. HSPA+ je daljnja nadogradnja koja omogućuje brzine prijenosa do 42,2 Mbit/s za silazni prijenos i 22 Mbit/s za uzlazni prijenos [3].



Slika 6. Arhitektura UMTS-a

Izvor: [3]

2.5 Četvrta generacija (4G) mobilnih mreža

4G (četvrta generacija) mobilnih mreža predstavlja značajan napredak u odnosu na prethodne generacije. Razvijena je s ciljem pružanja visokih brzina prijenosa podataka, poboljšane kvalitete glasa i boljeg iskustva korisnika u korištenju mobilnih usluga.

Jedna od ključnih karakteristika 4G mreže je njezina potpuna IP (*eng. Internet Protocol*) mrežna arhitektura. To znači da se komunikacija u 4G mreži odvija isključivo putem komutacije paketa. Ova promjena omogućuje veću fleksibilnost, efikasnost i kapacitet za prijenos podataka[4].

Brzina prijenosa podataka u 4G mreži je značajno povećana u usporedbi s 3G mrežom. Razvoj je prikazan na slici 7. Korisnici mogu doživjeti brzine do 100 Mbit/s, što omogućuje brzo preuzimanje sadržaja, streaming visoke kvalitete, jednostavan pristup društvenim mrežama i bolje iskustvo korištenja aplikacija koje zahtijevaju veliku propusnost.

Osim toga, 4G mreža donosi i druge prednosti kao što su manja latencija (vrijeme kašnjenja), bolja pouzdanost veze i veći kapacitet mreže za podršku velikom broju korisnika. Uvođenje 4G mreže predstavlja prekretnicu u mobilnoj tehnologiji te je omogućilo razvoj novih aplikacija i usluga koje zahtijevaju visoku brzinu prijenosa podataka.

| | | | | | |
|------------------------|--------------|----------------------------------|-----------|-------------------------------------|--|
| FDD razvoj (Europa) | WCDMA | HSDPA/HSUPA | HSPA+ | LLTE i HSPA+ | LTE advanced |
| 3 GPP inačnica | Realise 99/4 | Realise 5/6 | Realise 7 | Realise 8 | Realise 9/10 |
| Godina | 2003/04. | 2005/06. HSDPA 2007/08. HSDPA | 2008/09. | 2010. | 2011. |
| Brzina u silaznoj vezi | 384 kbit/s | 14 Mbit/s | 28 Mbit/s | LTE: 150 Mbit/s* HSPA+: 11Mbit/s | 100 Mbit/s uz visoku mobilnost 1 Gbit/s uz malu mobilnost |
| Brzina u uzlaznoj vezi | 128 kbit/s | 5,7 mbit/s | 11 Mbit/s | LTE: 75 Mbit/s* HSPA+: 11Mbit/s | |
| Kašnjenje | ~150ms | < 100 ms | < 50 ms | LTE: ~10 ms | |

Slika 7. Razvoj mobilnih mreža od 3G do 4G u Europi

Izvor: [4]

4.5G mreža predstavlja evoluciju 4G tehnologije s poboljšanim performansama i pripremu za uvođenje 5G mreže. Tehnologije poput LTE *Advanced Pro* i MIMO (eng. *Multiple-Input Multiple-Output*) koriste se u 4.5G mreži kako bi pružile bolje performanse i veću propusnost [4].

LTE *Advanced Pro*, naprednija verzija LTE *Advanced* standarda, uvodi ključne tehnologije povezane s 5G mrežom. To uključuje poboljšanja u modulaciji signala, masivne MIMO sustave, korištenje neslužbenih LTE frekvencijskih pojaseva i podršku za „Internet stvari“ IoT (eng. *Internet of Things*) uređaje [4].

MIMO tehnologija omogućuje korištenje više antena za odašiljanje i primanje signala, što povećava kapacitet i pouzdanost veze. To rezultira većom brzinom prijenosa podataka i učinkovitijim prijenosom [4].

4.5G mreža pruža poboljšane performanse u usporedbi s 4G mrežom, omogućujući veće brzine prijenosa podataka, bolju kvalitetu veze i podršku za napredne aplikacije. Iako nije potpuna 5G mreža, 4.5G predstavlja korak prema razvoju i pripremu za uvođenje naprednih mrežnih tehnologija i usluga u budućnosti [3].

2.6 Glavne značajke 5G mreže

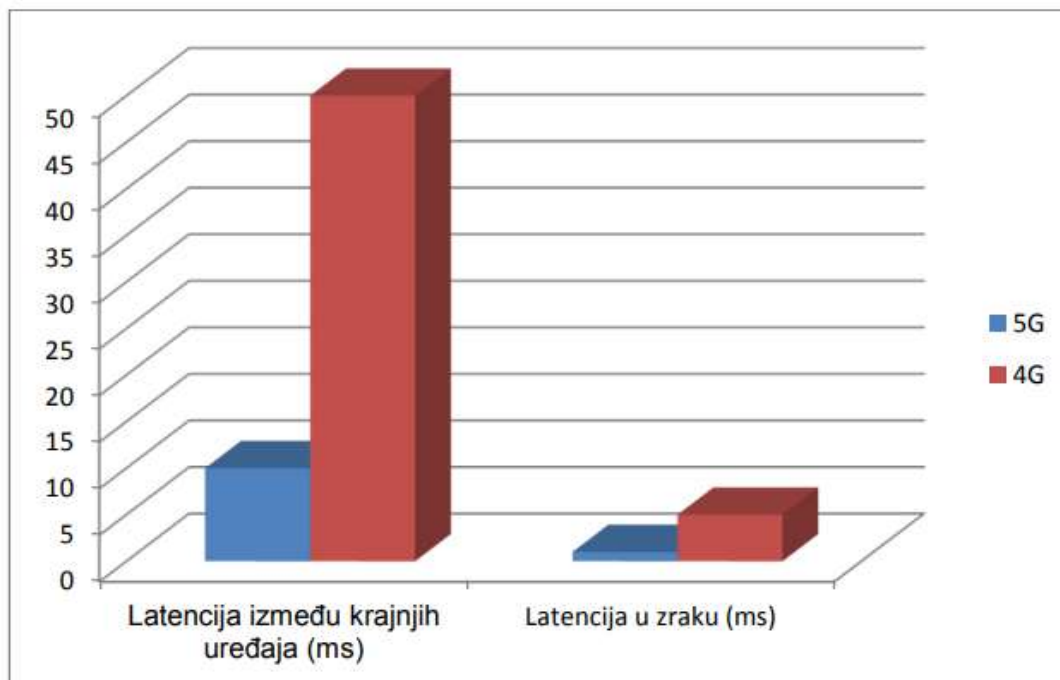
Petu generaciju mobilnih komunikacija (5G) karakteriziraju brojni zahtjevi i očekivanja koja se odnose na povećanje brzine prijenosa podataka, kapaciteta mreže, smanjenje latencije (vremena kašnjenja) i uštedu energije. Očekuje se da će 5G pružiti značajna poboljšanja u tim područjima.

Neka od ključnih poboljšanja i funkcionalnosti koje se očekuju od 5G mreže prema [5] su:

- Prosječna brzina prijenosa podataka u pokretu od oko 1 Gbit/s, što je značajno veća brzina u usporedbi s prethodnim generacijama.
- Veća učinkovitost upotrebe radijskog spektra, što će omogućiti bolje iskorištenje dostupnih frekvencijskih resursa.
- Poboljšana komunikacijska sigurnost, posebno kroz primjenu pametnog radija i naprednih sigurnosnih mehanizama.
- Manje dimenzije uređaja i puno duže trajanje baterije, odnosno veća energetska učinkovitost koja će omogućiti produženo vrijeme rada uređaja.
- Bolja radijska pokrivenost na rubnim područjima i veće brzine podataka u pojedinačnoj ćeliji, čime će se osigurati poboljšana korisnička iskustva.
- Ukupno vrijeme kašnjenja (latencija) od 1 ms, što će omogućiti brže odzive mreže i podršku za aplikacije s niskom latencijom poput virtualne stvarnosti i umjetne inteligencije.

- Mogućnost raspodjele podataka prilikom slanja i primanja kroz dva različita komunikacijska kanala ili pristupne mreže, što će omogućiti fleksibilnost i optimizaciju mreže.
- Primjena MIMO tehnologije koja koristi više prijemnih i odašiljačkih antena kako bi se povećao kapacitet mreže.
- Bežični Internet koji će omogućiti širokopojasnu komunikaciju i masovnu primjenu multimedijskog sadržaja.
- Visoka pouzdanost usluge od 99.999%, što je važno za kritične primjene kao što su industrijska automatizacija i autonomna vozila.
- Podrška za velik broj IoT terminalnih uređaja, omogućavajući povezivanje i upravljanje velikim brojem uređaja u IoT ekosustavu.
- Visoka mobilnost do 500 km/h za promet koji se odvija na tlu, što je važno za primjenu u brzim vlakovima i vozilima.

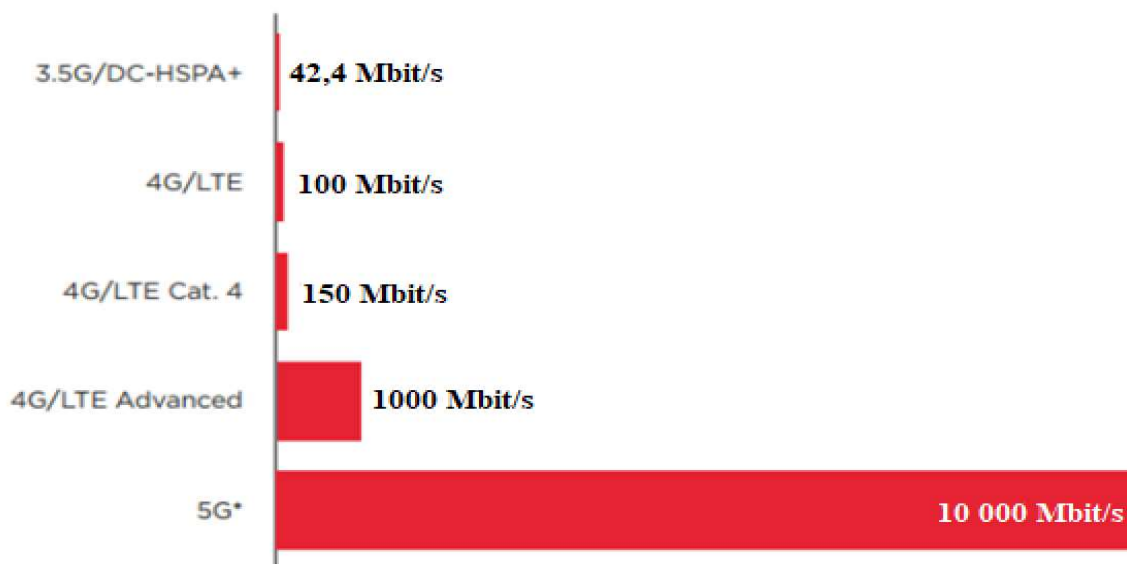
Ova očekivanja i poboljšanja predstavljaju ključne ciljeve 5G mreže kako bi se omogućila visoka brzina, pouzdanost i široka primjena različitih usluga i aplikacija.



Slika 8. Razina latencije između 4G i 5G mreža

Izvor: [5]

Grafički prikaz na slici 8. ilustrira kako 5G tehnologija donosi značajna poboljšanja u pogledu latencije, što omogućava brže i responzivnije korisničko iskustvo. Latencija u zraku za 4G iznosi 10 ms, dok za 5G iznosi 1 ms. Također, latencija između krajnjih uređaja je 50 ms za 4G i 5 ms za 5G. Ovi podaci ukazuju na značajno smanjenje latencije u 5G mreži u usporedbi s 4G mrežom. Latencija je vrijeme koje je potrebno da podaci putuju od izvora do odredišta i natrag. Smanjenje latencije u 5G mreži omogućava brže odzive, što je ključno za aplikacije koje zahtijevaju nisku latenciju poput virtualne stvarnosti, autonomnih vozila i industrijske automatizacije.



Slika 9. Usporedba brzina prijenosa podataka između 5G i ostalih

Izvor: [5]

Slika 9. koju prikazuje povećanje brzine prijenosa podataka u mobilnim mrežama kroz generacije, s posebnim naglaskom na petu generaciju (5G) koja će omogućiti brzine do 10 Gbit/s. Ovo drastično povećanje brzine podataka ključno je za podržavanje novih naprednih aplikacija i usluga koje zahtijevaju visoke propusnosti.

Kako bi se ispunili zahtjevi postavljeni pred 5G mrežu, potrebno je unaprijediti arhitekturu mobilnih mreža u nekoliko područja [5]:

- Razvoj ćelija visoke gustoće: Gusta mreža ćelija omogućuje bolju pokrivenost i kapacitet, što je ključno u urbanim sredinama s velikim brojem korisnika.
- Razvoj milimetarskih (mm) valova: Korištenje visokofrekventnih mm valova omogućuje veći protok podataka i brže prijenosne brzine, ali zahtijeva dodatnu infrastrukturu zbog kraćeg dometa signala.
- Dijeljenje frekvencijskog opsega: Uvođenje tehnika poput dinamičkog dijeljenja spektra DSS (*eng. Dynamic Spectrum Sharing*) omogućuje efikasnije korištenje raspoloživog frekvencijskog spektra i bolju prilagodljivost različitim korisnicima i uslugama.
- Razvoj samoorganizirajućih mreža: Samoorganizirajuće mreže koriste umjetnu inteligenciju i automatizaciju za upravljanje i optimizaciju mreže, što rezultira boljom učinkovitošću i pouzdanošću.

2.7 Elementi arhitekture 5G mreže

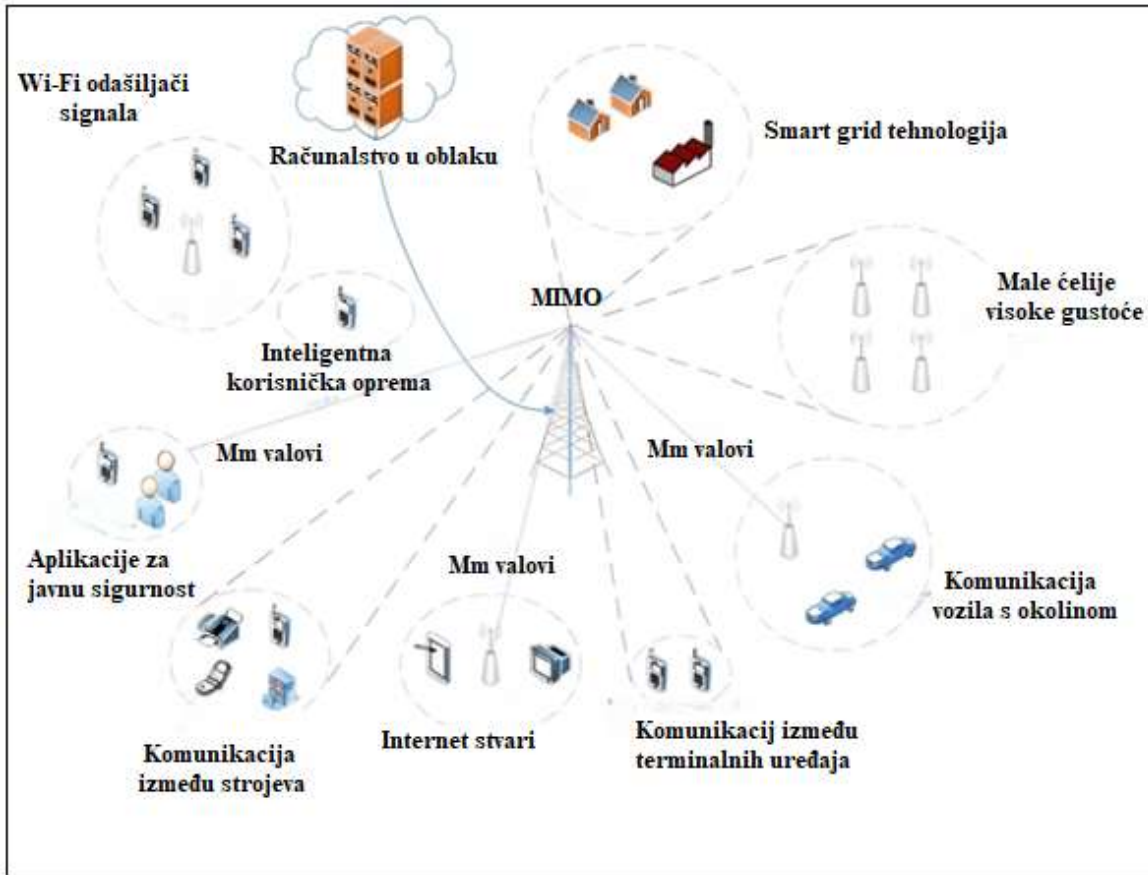
Arhitektura 5G mreže temelji se na ciljevima povećanja kapaciteta, smanjenja latencije, podrške novim poslovnim modelima i širokom spektru aplikacija. Slika 10. prikazuje ovu arhitekturu, koja će omogućiti napredne mogućnosti komunikacije i transformirati način na koji se koriste mobilne mreže.

5G mreža će pružiti vrlo visoke brzine prijenosa podataka, čak i pri visokoj mobilnosti ili u manje naseljenim područjima, koristeći nove tehnologije kao što su MIMO i milimetarski valovi. U kasnijim verzijama, 5G će biti ključan za povezivanje svih uređaja u IoT-u. Osim povećanja kapaciteta, 5G mreža će donijeti i smanjenje latencije, što će omogućiti brže odzive i podršku za aplikacije s niskom latencijom poput izračunavanja u oblaku, virtualne stvarnosti i autonomnih vozila. Mobilnost će biti poboljšana u 5G mreži, omogućujući korisnicima da se kreću brže i dalje bez gubitka veze. Također, pouzdanost mreže će biti veća, osiguravajući neprekidnu komunikaciju i manje prekide u uslugama. Sigurnost će biti također važan aspekt 5G mreže, s primjenom pametnih radio sustava i naprednih sigurnosnih mehanizama. Korisnici će imati veću kontrolu nad svojim podacima i bolje upravljanje privatnosti.

Nova arhitektura 5G mreže bit će fleksibilna i temeljena na uslužnom pristupu. Podaci i alati bit će pohranjeni u oblaku i uvijek dostupni korisnicima na bilo kojem mjestu. Uz sve ove promjene,

5G mreža će omogućiti razvoj novih poslovnih modela i otvoriti vrata za inovativne usluge i aplikacije koje će promijeniti način na koji koristimo mobilne mreže [5].

Slika 10. ilustrira arhitekturu 5G mreže koja će podržavati ove ciljeve i promjene te omogućiti napredne mogućnosti komunikacije.



Slika 10. Arhitektura 5G mreže

Izvor: [5]

Računarstvo u oblaku (*eng. Cloud computing*) je model pružanja računalnih resursa kao usluge putem Interneta. Korisnicima se omogućuje pristup računalnim sadržajima i uslugama prema potrebi, bez potrebe za posjedovanjem i održavanjem vlastite infrastrukture. Glavna karakteristika ovog modela je pružanje usluga na zahtjev, što omogućuje fleksibilnost i skalabilnost mreže. Oblak omogućuje dijeljenje i pohranu sadržaja te omogućuje udruživanje resursa iz više oblaka. Korisnici

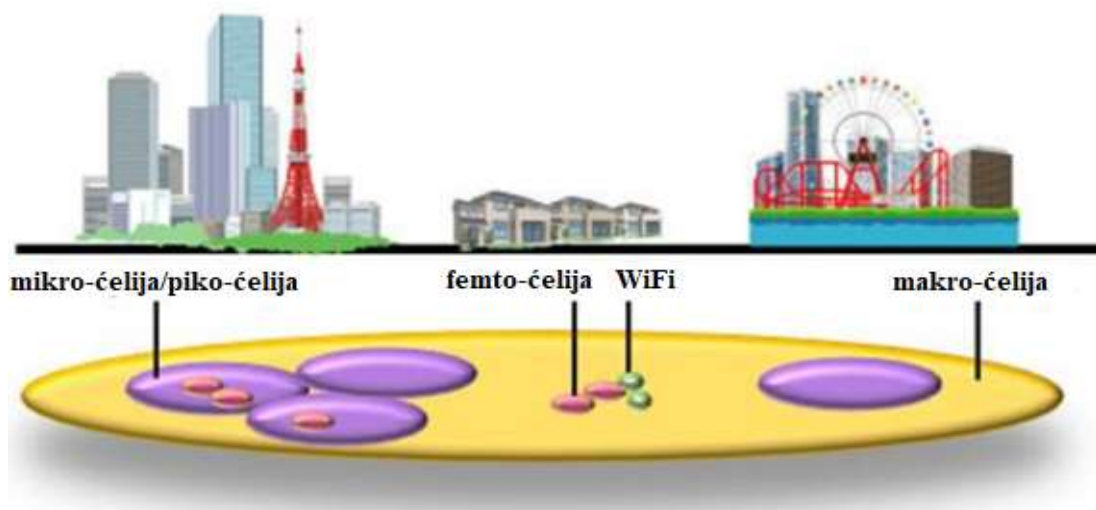
imaju kontrolu nad dostupnošću i sigurnošću svojih privatnih sadržaja u oblaku te mogu postaviti sigurnosne postavke za dijeljenje sadržaja s drugima [5].

Smart grid tehnologija je područje primjene u 5G mrežama. Ona se temelji na naprednim informacijskim i telekomunikacijskim tehnologijama koje olakšavaju upravljanje električnom energijom i omogućuju uštede. 5G mreže će pružiti nadogradnju pristupnih mreža s novom tehnologijom koja radi na visokim frekvencijama, što će omogućiti revoluciju u mobilnoj industriji [5].

Uvođenje manjih ćelija visoke gustoće (*eng. Hyperdense small-cell deployment*) omogućit će postavljanje ćelija na manjim udaljenostima, što će osigurati veću pokrivenost signala. Razvoj ovakvih tehnologija će pomoći 5G mrežama u postizanju cilja povećanja kapaciteta mreže za 1000 puta u odnosu na prethodne generacije [5].

Na slici 11. vidi se kako će uobičajene bazne stanice imati ulogu makro-ćelija, dok će manje ćelije poput mikro-ćelija, piko-ćelija i femto-ćelija biti postavljene na manjim udaljenostima i bit će zadužene za upravljanje u tim područjima gdje je ljubičastom bojom označena snaga mikro i piko ćelije, crvenom bojom snaga femto ćelije i žutom bojom snaga makro ćelije.

Sve ove napredne tehnologije i promjene u arhitekturi 5G mreža omogućit će visoke brzine prijenosa podataka, smanjenje latencije, povećanje kapaciteta mreže i podršku novim poslovnim modelima, transformirajući način na koji koristimo mobilne mreže.



Slika 11. Razlike u snazi signala različitih veličina

Izvor: [5]

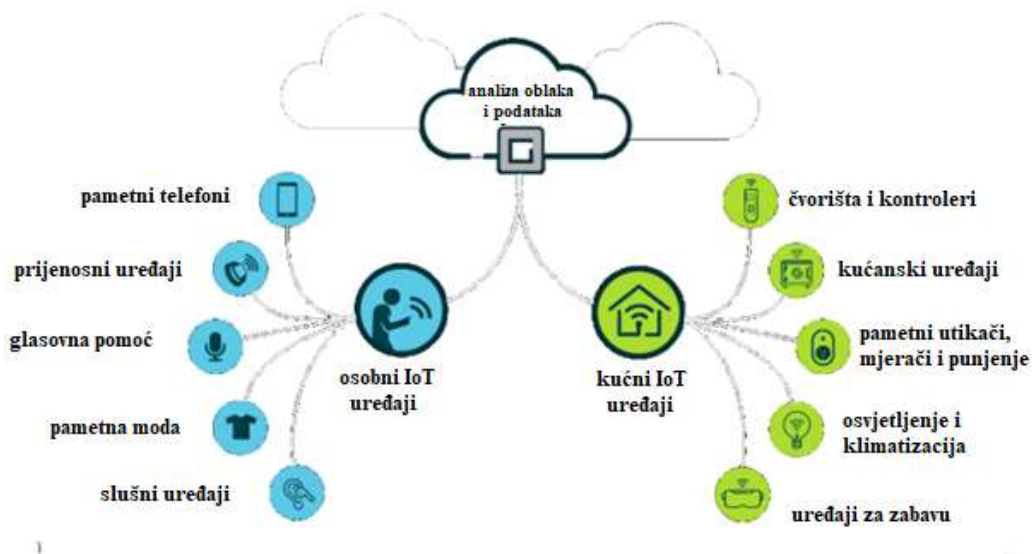
3. RAZVOJ KONCEPTA INTERNET STVARI

IoT je koncept koji se odnosi na povezivanje različitih uređaja i stvari putem interneta kako bi mogli međusobno komunicirati i razmjenjivati podatke. IoT tehnologija ima potencijal da poboljša čovjekov svakodnevni život i omogući mu veću kontrolu i automatizaciju različitih aspekata čovjekovog okruženja [3].

Postoje nekoliko mogućnosti koje IoT pruža, uključujući [3]:

- Pametno mjerenje: IoT omogućuje praćenje i upravljanje potrošnjom energije (struje), goriva ili vode putem povezanih uređaja. To može rezultirati efikasnijim korištenjem resursa i boljim praćenjem potrošnje.
- Lociranje: IoT tehnologija omogućuje praćenje lokacije ljudi, životinja ili predmeta putem povezanih uređaja. Ovo ima široku primjenu u područjima kao što su sigurnost, praćenje vozila i logistika.
- Kontrola i automatizacija: IoT omogućuje daljinsko upravljanje različitim uređajima i sustavima, poput rasvjete, grijanja, kućnih aparata i drugih uređaja. Ovo pruža veću praktičnost, uštedu energije i poboljšanu udobnost.

IoT ima široku primjenu u različitim sektorima kao što su pametni gradovi, industrija, zdravstvo, promet, poljoprivreda i mnogi drugi kao što je prikazano na slici 12. Očekuje se da će daljnji razvoj IoT tehnologije pružiti još veće mogućnosti i transformirati način na koji čovjek živi i radi.



Slika 12. Mogućnosti IoT

Izvor:[3]

NB-IoT (*eng. Narrowband Internet of Things*) je standard koji je definiran od strane 3GPP-a (*eng. 3rd Generation Partnership Project*) i usmjeren je na podršku IoT-a putem tehnologije LPWAN (*eng. Low Power Wide Area Network*). Glavni ciljevi NB-IoT-a su osigurati nisku cijenu, dug vijek trajanja baterije i široku upotrebu u različitim mrežnim uređajima i uslugama. NB-IoT koristi uski frekvencijski pojas od 180 kHz za komunikaciju. Za silaznu vezu, koristi se OFDM (*eng. Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) modulacijska tehnika, dok se za uzlaznu vezu koristi SC-FDMA (*eng. Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) tehnika. Brzine prijenosa podataka u NB-IoT mreži su relativno niske, s brzinom prijenosa od 50 kbit/s preuzimanja i 20 kbit/s slanja. Međutim, te brzine su dovoljne za većinu IoT aplikacija koje imaju nisku propusnost podataka i prioritet na energetske učinkovitost [3].

LPWAN zahtjevi za NB-IoT uključuju domet od 2 do 5 km za urbana područja i domet od 10 do 15 km za ruralna područja. Također, NB-IoT ima niske troškove izrade uređaja, nisku cijenu za krajnje korisnike, jednostavan razvoj i podršku za veliki broj uređaja, što ga čini atraktivnim za primjenu u IoT scenarijima [3].

U budućnosti se očekuje daljnji razvoj IoT uređaja i povećanje upotrebe NB-IoT tehnologije. Također, razvoj 5G mreža pružit će naprednije i potpuno podržane mrežne mogućnosti za IoT uređaje.

Većina telekomunikacijskih operatera podržava uvođenje NB-IoT standarda zbog njegove niske cijene i manje potrebe za velikim investicijama, što ga čini privlačnim izborom za IoT povezanost.

Internet stvari (IoT) je koncept koji se odnosi na povezivanje fizičkih objekata na internet kako bi se omogućila komunikacija i razmjena podataka između tih objekata i drugih uređaja i ljudi. IoT omogućuje praćenje i upravljanje različitim uređajima i objektima kako bi se poboljšali poslovni procesi, efikasnost i udobnost življenja [6].

IoT objedinjuje informacijsku tehnologiju (IT) i operacijsku tehnologiju (OT). IT tehnologija se odnosi na skup alata, aplikacija i infrastrukture za prikupljanje, analizu i upravljanje podacima u digitalnom okruženju. OT tehnologija se odnosi na tehnologije koje se koriste u industrijskim postrojenjima i drugim stvarnim okruženjima kako bi se upravljalo i kontroliralo fizičkim procesima, poput senzora, upravljačkih jedinica i automatizacije. Kroz integraciju IT i OT tehnologija, IoT omogućuje stvaranje pametnih sustava i usluga koje donose brojne prednosti u različitim područjima, poput industrije, prometa, zdravstva, poljoprivrede, pametnih gradova i mnogih drugih [7].



Slika 13. Glavne komponente IoT

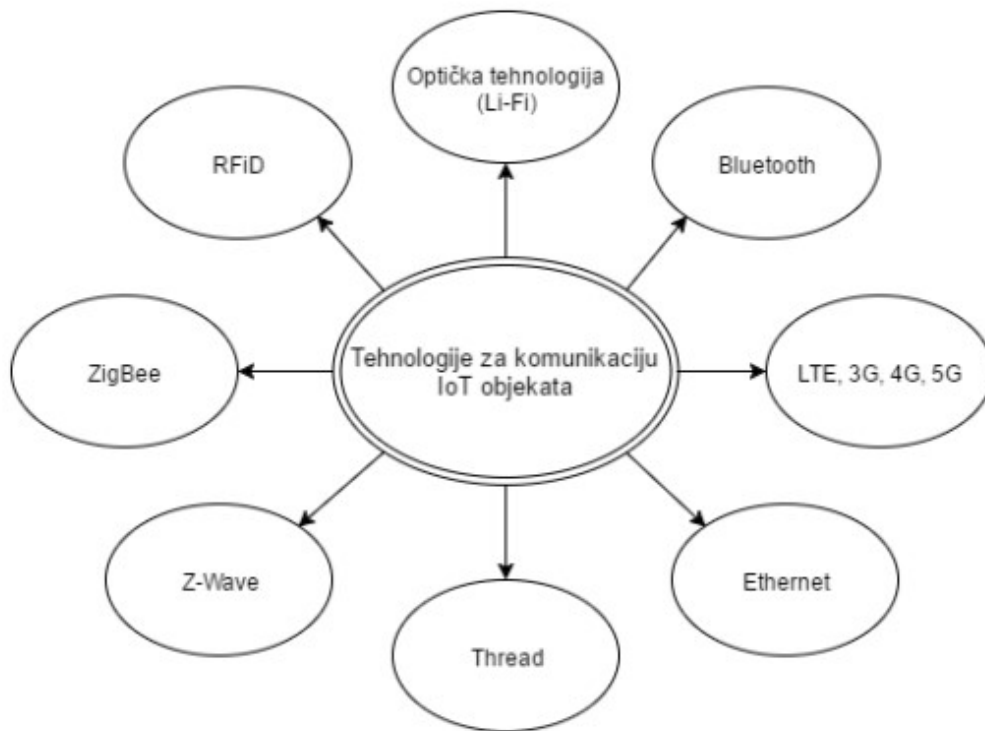
Izvor: [6]

Tri ključne komponente IoT sustava su senzori (krajnji uređaji), mreža i inteligentni softver kao što prikazuje i slika 13. Ove komponente omogućuju IoT sustavima da prikupljaju, procesuiraju, analiziraju i vizualiziraju informacije, te poduzimaju odgovarajuće aktivnosti za upravljanje krajnjim uređajima.

Napredak u senzorskoj tehnologiji, bežičnom povezivanju, obradi podataka i potrebi za pametnim sustavima igraju ključnu ulogu u poticanju razvoja IoT-a. Na slici 14. prikazane su različite

vrste bežičnih načina povezivanja, zajedno s ostalim vrstama tehnologija za komunikaciju. Također, tehnološki napredak u komunikaciji, poput Li-Fi (*eng. Light Fidelity*) tehnologije i razvoja 5G mreža, otvara nove mogućnosti za brži prijenos podataka i podršku IoT-u. Implementacija IoT-a zahtijeva odgovarajuću tehnologiju povezivanja, a odabir ovisi o potrebama i specifičnostima svake organizacije ili industrije. IPv6 (*eng. Internet Protocol version 6*) protokol, s njegovim proširenim brojem IP adresa, omogućuje povezivanje velikog broja uređaja i razmjenu podataka putem interneta.

Nadalje, razvoj IoT-a pruža brojne prednosti, uključujući poboljšanje poslovnih procesa, efikasnost, optimizaciju resursa te stvaranje novih usluga i aplikacija. IoT ima potencijal da transformira različite industrije, poput industrije, zdravstva, prometa, poljoprivrede i mnogih drugih, poboljšavajući način na koji živimo i radimo [7].



Slika 14. Vrste mreža za komunikaciju IoT

Izvor: [6]

Implementacija IoT tehnologija sve više napreduje u poslovnom sektoru i svakodnevnom životu ljudi. Neki od statistički podataka koji ukazuju na taj trend su [6]:

- Prema zajedničkom izvješću DHL-a i Cisca iz 2015., predviđalo se da će do 2020. godine biti povezano 50 milijardi stvari na internet. Iako ta brojka nije ostvarena, trenutno se procjenjuje da je oko 15 milijardi stvari povezano na internet. To ukazuje na kontinuirani rast broja povezanih uređaja.
- Istraživanje tvrtke Zebra Technologies pokazalo je da je implementacija IoT rješenja unutar poduzeća narasla za 333% od 2012. godine. To ukazuje na sve veći interes i implementaciju IoT tehnologija u poslovnom sektoru. Mnoge kompanije prepoznaju potencijal IoT-a za poboljšanje poslovnih procesa i povećanje učinkovitosti.
- Prema rezultatima istraživanja tvrtke Forrester Research iz 2014., 75% ispitanih poduzeća koristilo je neki oblik IoT tehnologije u svojim poslovnim aktivnostima, u usporedbi sa samo 15% u 2012. godini. To ukazuje na brzi rast prihvaćanja IoT tehnologija u poslovnim okruženjima.
- Predviđa se da će trend rasta i implementacije IoT koncepta nastaviti sljedećih 5-10 godina. Mnoge kompanije planiraju revidirati svoje poslovne modele, integrirati IoT tehnologije i iskoristiti analitičke sustave kako bi dobile bolji uvid u poslovne procese i poboljšale organizaciju svojih poduzeća.

Unatoč brzom napretku i rastu implementacije IoT tehnologija, sigurnost i zaštita ostaju glavni izazovi. S obzirom na sve veći broj povezanih uređaja i razmjenu osjetljivih podataka, potrebno je osigurati adekvatne sigurnosne mjere kako bi se zaštitili podaci i spriječili sigurnosni propusti. Sigurnost će biti ključni fokus u daljnjem razvoju IoT tehnologija.

Tablica 3. Evolucija interneta kroz pet valova umrežavanja

| PRVI VAL | DRUGI VAL | TREĆI VAL | ČETVRTI VAL | PETI VAL |
|--|--|--|---|---|
| 1990. | 1997. | 2004. | 2010. | danas – 2025. |
| 3 mil. korisnika | 76 mil. korisnika | 745 mil. korisnika | 2,4 milrd. korisnika / stvari | 1.5 trilijuna korisnika / stvari |
| POČECI POVEZIVANJA | POVEZIVANJE POSLOVNIH SEKTORA povezana ekonomska učinkovitost / optimizacija | POVEZIVANJE LJUDI povezivanje, zajednice, dijeljenje informacija „globalni mozak“ | POVEZIVANJE STVARI (Iot) povezivanje nespojivog, Big Data / analitika | HARMONIZACIJA digitalizacija društva, singularnost, čovjek/stroj |
| - e mail - web preglednik - pretraga | - e trgovina - digitalizacija opskrbnih lanaca | - web 2.0 - društvene mreže - mobilnost - Cloud - video - kolaboracija | - široka primjena senzora - M2M komunikacija - sveprisutna inteligencija - „podaci u pokretu“ sigurnost | - nova generacija aplikacija i sučelja - inkorporiranost/ neprimjetnost - nosivi uređaji (VR, AR) - Big Data „mudrost“ - poboljšanje ishoda |

Izvor: [6]

Tablica 3. prikazuje faze razvoja interneta kroz pet valova umrežavanja, koje su klasificirane prema godinama i tehnologijama koje su utjecale na porast broja korisnika interneta. Četvrta faza (2010.) se odnosi na rast povezanosti stvari na internet (IoT), koji uključuje razvoj *Big Data* tehnologije i prediktivne analitike za iskorištavanje velikih količina podataka generiranih iz povezanih stvari. Treća faza (2004.) obuhvaća uspostavu *Cloud* tehnologije, koja je omogućila nastanak i razvoj IoT-a. Peti val (dan-as-2025.) naglašava potrebu za razvojem 5G mreže, koja je ključna za podršku tehnologijama proširene i virtualne stvarnosti, poput korištenja pametnih naočala u skladišnim procesima. U tablici 4. su prikazane značajke i razvoj mobilnih mreža [6].

IoT je dio koncepta „Internet svega“ IoE (*eng. Internet of Everything*) koji uključuje povezivanje stvari, ljudi, procesa i podataka u jednu mrežu. Tri ključna tržišta za razvoj IoE su mobilni uređaji, Cloud aplikacije i društvene mreže. IoT se često percipira kao povezivanje uređaja, ali interakcija ljudi i podataka je također važna. IoE obuhvaća povezivanje svega [7].

Tablica 4. Generacije mobilne komunikacije

| Mobilna komunikacija | Značajke | Promjene |
|-----------------------------|--|---|
| 1G | Usluge analognog zvuka | Analogno-digitalno |
| 2G | Usluge digitalnog zvuka, SMS (globalno) | Integracija usluga podataka (mobilni web) |
| 3G | Zvuk (poziv), Podaci (paketi podataka) | Sve temeljeno na IP-u, veće brzine podataka |
| 4G | IP podaci (zvuk, e-mail, web, audio/video <i>streaming</i>) | Integracija vertikalnih industrija |
| 5G | Kontrola i upravljanje (M2M, IoT, proširena stvarnost (AR), virtualna stvarnost (VR), pomoć u svakodnevnom životu ljudi) | |

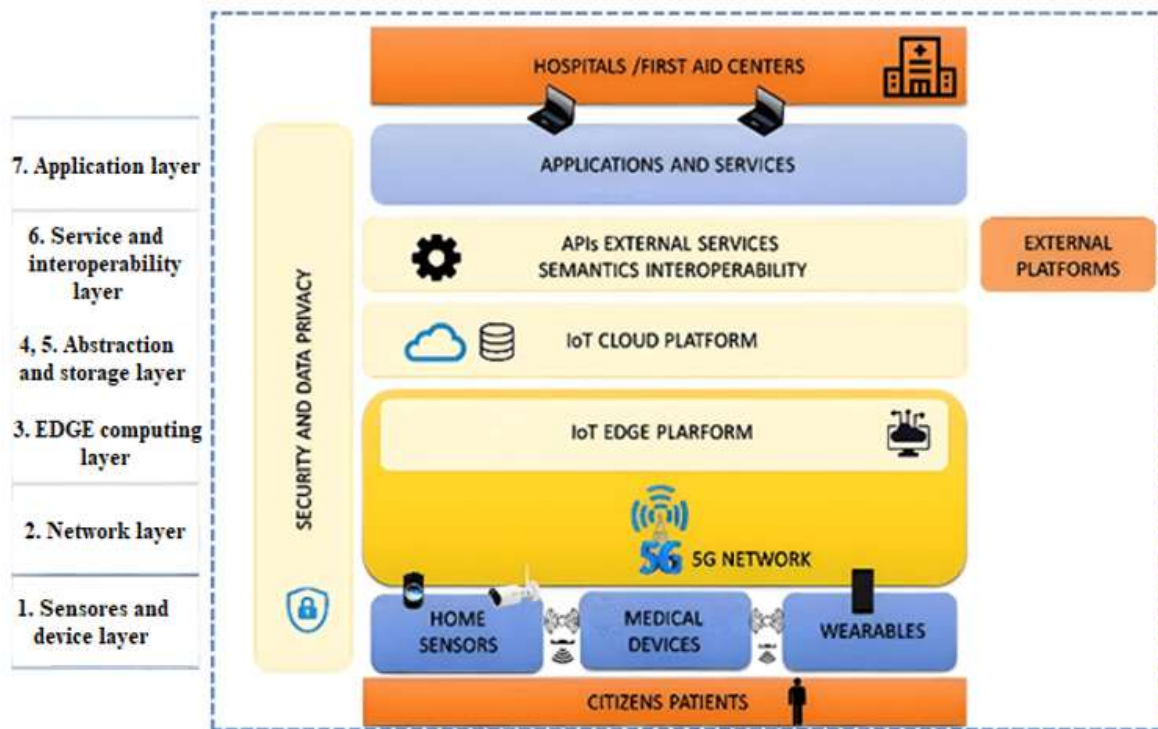
Izvor: [6]

4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE 5G MREŽE I IoT KONCEPTA U PODRUČJU MEDICINE

U proteklim desetljećima, progres u domeni internetskog i mobilnog komuniciranja predočio je značajne evolucijske korake unutar medicinskog sektora. Koncept e-Zdravstva (*eng. eHealth*) poznat i kao „elektroničko zdravstvo“ i m-Zdravstva (*eng. mHealth*) koristi se još i termin „mobilno zdravstvo“ primjenjuje računalne tehnologije zajedno s informacijsko-komunikacijskim tehnologijama (IKT) kako bi se obogatila pružena zdravstvena njega. Progres mobilnih mreža je dosegao stupanj koji omogućava sveprisutnu dostupnost i brzu međunarodnu komunikaciju, dok inovativne aplikacije zasnovane na 5G tehnologiji otvaraju vrata za implementaciju naprednih m-zdravstvenih rješenja, pospješujući dijagnostiku, pacijentov nadzor, telemedicinu i druge ključne aspekte zdravstvene skrbi.

E-Zdravstvo koristi IKT za poboljšanje zdravstvene skrbi. To uključuje primjenu digitalnih alata, telemedicine, mobilnih aplikacija, senzora i drugih inovacija za bolji pristup zdravstvenim uslugama, dijagnostiku, praćenje pacijenata i edukaciju. 5G tehnologija može unaprijediti e-Zdravstvo kroz brži prijenos podataka, manju latenciju i veću pouzdanost mreže. Predloženi sustav za daljinsko praćenje pacijenata ima otvorenu i multiplatformsku arhitekturu, prilagođen je za obradu velike količine podataka i podržava interoperabilnost s drugim zdravstvenim sustavima. Sigurnost i stabilnost mreže također su važni u ovakvom sustavu. Cilj je optimizirati zdravstvene usluge kroz korištenje IKT-a. [8]

Sustav e-Zdravstva koji koristi 5G tehnologiju ima slojeve i komponente za učinkovito funkcioniranje kao što je prikazano na slici 15. Na sloju 1 su uređaji i senzori koji prikupljaju podatke o pacijentima i komuniciraju s baznim stanicama mreže 5G. Podaci se obrađuju lokalno na „IoT EDGE“ platformi kako bi se smanjio volumen prijenosa, a zatim se šalju na „IoT Cloud Platformu“ za daljnju analizu i upravljanje identitetima. Na semantičkom sloju omogućuje se razmjena podataka s drugim vanjskim platformama. Konačni sloj pruža razne inteligentne medicinske usluge, uključujući praćenje vitalnih parametara, detekciju događaja, skrb za kronične bolesnike i kućno pružanje medicinskih usluga. Cilj sustava je optimizirati pružanje zdravstvenih usluga kroz napredne tehnologije i poštivanje europskih standarda [9].



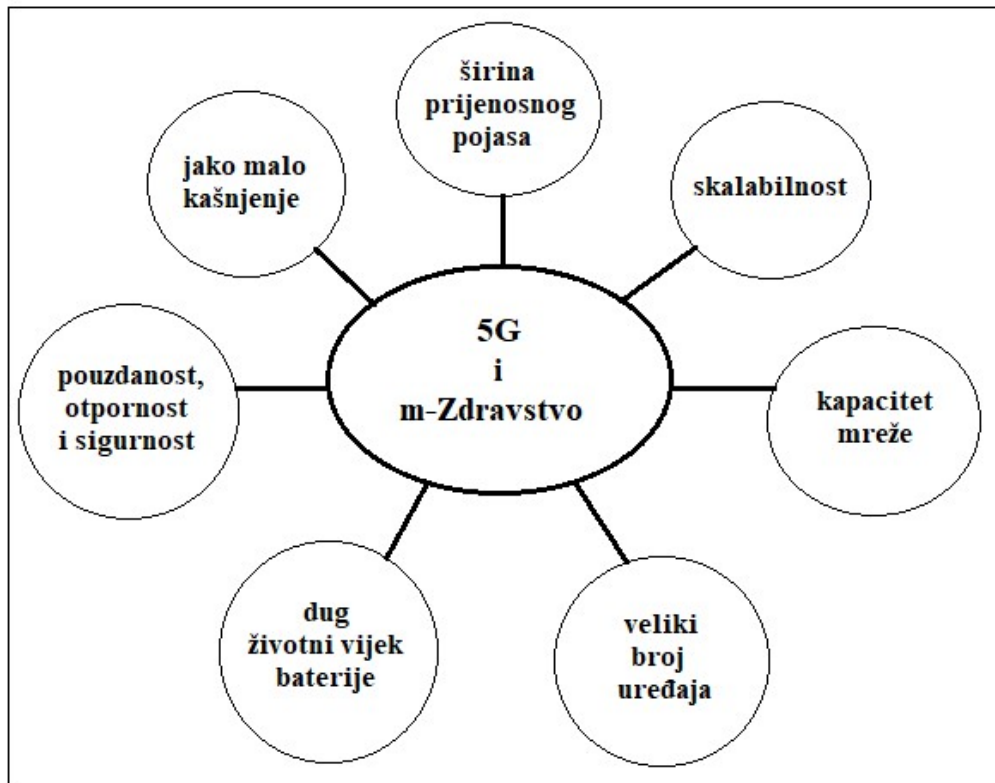
Slika 15. Slojevi sustava e-Zdravstva koji koristi 5G tehnologiju

Izvor: [9]

4.1 Rješenja za m-Zdravstvo korištenjem 5G mreža i M2M komunikacija

M-Zdravstvo pruža mnogo mogućnosti za pristup zdravstvenim uslugama putem mobilnih uređaja, omogućujući snimanje, analizu, pohranu i prijenos zdravstvenih informacija. Ove mobilne aplikacije koriste se za poticanje zdravih navika, praćenje tjelesne aktivnosti i pridržavanje planova liječenja. Prednosti uključuju smanjenje medicinskih pogrešaka, poboljšanje učinkovitosti zdravstvenih usluga i pristup pravim informacijama u stvarnom vremenu. M-Zdravstvo ima potencijal za transformaciju pružanja zdravstvene skrbi, ali zahtijeva pažljivu implementaciju kako bi se osigurala sigurnost podataka i privatnost pacijenata [10].

5G mreža ima cilj povezivati ljude i uređaje kako bi omogućila komunikaciju i pristup mreži. Razvoj mobilne tehnologije ključan je za napredak M2M (*eng. Machine to Machine*) komunikacija i IoT-a. 5G mreža ima potencijal transformirati mnoge zdravstvene scenarije, uključujući upravljanje imovinom u bolnicama, tele-operaciju, nadzor zdravstvenih podataka i primjenu pametnih lijekova. Ove mogućnosti će značajno unaprijediti rješenja za zdravlje ljudi [9].



Slika 16. Ključne mogućnosti 5G mreže za m-Zdravstvo

Izvor: [9]

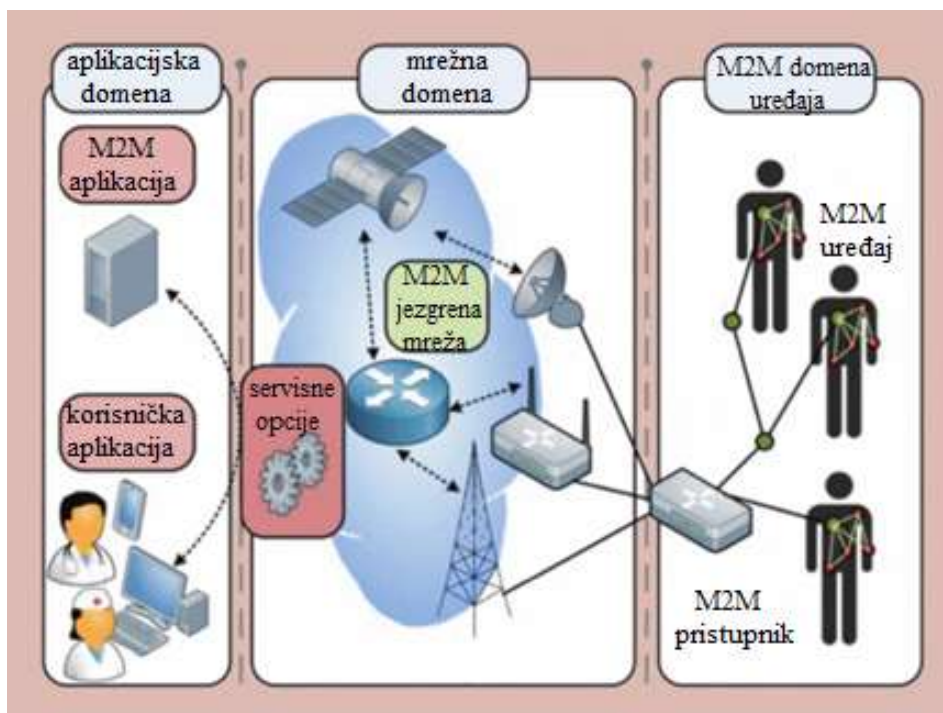
5G mreže u kontekstu m-Zdravstva donose nisku latenciju, širu propusnost, skalabilnost, mrežni kapacitet za masovno povezivanje uređaja, životni vijek baterije te sigurnost što prikazuje i slika 16.. Niska latencija omogućuje telekirurgijska rješenja i daljinske operacije. Širina pojasa omogućuje visoke brzine prijenosa i podršku za velike količine podataka u realnom vremenu. Skalabilnost je važna za upravljanje velikim brojem biomedicinskih uređaja. Produženi vijek trajanja baterije omogućuje samoodrživost uređaja tijekom liječenja. Sigurnost je ključna zbog sve većeg broja dionika i zaštite privatnosti. Sve ove karakteristike su važne za napredak m-zdravlja u budućnosti [10].

Proveden su studije koje istražuju primjenu 5G tehnologije u kontekstu zdravstva. Amitabh Mishra i Dharma P. Agriwal predlažu arhitekturu za kontinuirano slanje fizioloških podataka s malom potrošnjom, s fokusom na osiguravanje kontinuirane usluge čak i u zagušenju mreže. Swaroop Nunna i kolege ističu potencijal kombiniranja 5G i računalstva mobilnih rubova za stvaranje *ad hoc* sustava suradnje u stvarnom vremenu, posebno za primjenu telekirurgije. Balasubramanski Arunsundar i Rajavelu Srinivasan predlažu sveprisutnu 5G arhitekturu za telemedicinu, koja koristi kognitivne mreže i višestruku ulazno/izlaznu tehnologiju. Sve ove studije ističu potencijal 5G tehnologije za poboljšanje i razvoj zdravstvenih aplikacija, iako je potrebno daljnje istraživanje i razvoj kako bi se ostvarili ti potencijali [9].

Slika 17. prikazuje pojednostavljenu M2M arhitekturu za mobilna zdravstvena rješenja. Ova arhitektura omogućuje međusobno povezivanje inteligentnih uređaja bez potrebe za ljudskom intervencijom. Korištenjem heterogene komunikacijske mreže, M2M komunikacije i MTC (*eng. Machine-Type Communications*), različiti uređaji u zdravstvenom okruženju mogu razmjenjivati podatke i obavljati zadatke bez potrebe za stalnom ljudskom prisutnošću ili intervencijom.

Ova arhitektura pruža temelje za razvoj mobilnih zdravstvenih aplikacija koje koriste M2M komunikaciju kako bi omogućile daljinsko praćenje pacijenata, upravljanje medicinskim uređajima i sensorima te prijenos podataka o zdravstvenom stanju u stvarnom vremenu. Komunikacija između različitih uređaja u ovom okruženju omogućena je korištenjem različitih bežičnih tehnologija kao što su 3G, 4G, *Wi-Fi*, *Bluetooth* i druge.

Ova M2M arhitektura u mobilnom zdravstvu omogućuje brz prijenos podataka, interoperabilnost uređaja i sigurnu razmjenu informacija. To otvara vrata za razvoj inovativnih zdravstvenih rješenja koja poboljšavaju kvalitetu skrbi, omogućuju praćenje pacijenata na daljinu i pružaju novu razinu učinkovitosti i preciznosti u dijagnostici i liječenju [11].



Slika 17. Pojednostavljena arhitektura M2M za mobilna zdravstvena rješenja

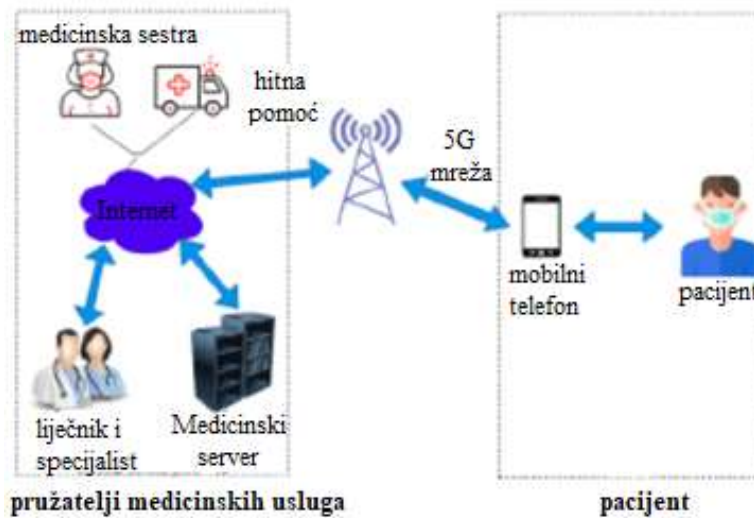
Izvor: [9]

Slika 17. prikazuje M2M arhitekturu za mobilna zdravstvena rješenja koja uključuje tri domene: uređaje, mrežu i aplikacije. Uređaji poput senzora i nosivih naprava prikupljaju podatke, mreža omogućuje komunikaciju između uređaja i poslužitelja putem različitih tehnologija, dok aplikacije obradom podataka poboljšavaju zdravstvene usluge.

M2M tehnologija ima potencijal za mobilna rješenja u zdravstvu, omogućujući daljinsko praćenje pacijenata i poboljšanje skrbi. 5G mreža može unaprijediti ovu tehnologiju. Izazovi uključuju sigurnost, interoperabilnost i baterijsku trajnost. Inovacije će doprinijeti napretku i pružanju naprednih zdravstvenih usluga [12].

4.2 5G tehnologija za e-Zdravstvo

Niska latencija 5G omogućuje gotovo stvarno vrijeme komunikacije između uređaja, što je posebno važno u zdravstvu gdje je trenutna razmjena podataka ključna. Uvođenje 5G mreže će promijeniti pristup, dostupnost mreže i percepciju zdravlja i sigurnosti. Očekuje se da će donijeti napredak u području zdravstvene zaštite i poboljšati kvalitetu života ljudi diljem svijeta. Na slici 18. je prikazan izgled mreže potrebe za osiguravanje e-Zdravstva [11].



Slika 18. Mreže za e-Zdravstvo

Izvor: [12]

Zahtjevi korisnika/liječnika za zdravstvene aplikacije mogu se svrstati u nekoliko kategorija. To uključuje [12]:

- Globalno bilo kada pristup i kontrola nad samo-podacima: Korisnici/liječnici žele imati mogućnost pristupa svojim zdravstvenim podacima i kontrolirati ih bilo gdje i bilo kada.
- Osiguravanje prenosivosti podataka: Važno je da korisnici/liječnici mogu jednostavno prenositi svoje zdravstvene podatke između različitih sustava ili pružatelja usluga.
- Dobivanje pristanka na pristup privatnim podacima: Korisnici/liječnici žele biti sigurni da se pristup njihovim privatnim podacima odvija samo uz njihovu suglasnost.
- Povjerena treća strana za pohranu podataka: Korisnici/liječnici žele imati povjerenje u treću stranu koja čuva njihove zdravstvene podatke i osigurava njihovu sigurnost.

- Praćenje pristupa i stabilnost: Važno je pratiti tko ima pristup zdravstvenim podacima i osigurati stabilnost sustava kako bi se podaci pouzdano prenosili.
- Omogućavanje usluga za pacijente na temelju lokacije putem praćenja: Korisnicima/liječnicima bi trebala biti omogućena lokacijska usluga koja im pomaže pristupiti odgovarajućim zdravstvenim uslugama na temelju njihove lokacije.
- Fleksibilnost razmjene podataka s drugim pouzdanim izvorima: Korisnicima/liječnicima bi trebala biti omogućena fleksibilnost u razmjeni zdravstvenih podataka s drugim pouzdanim izvorima.
- Podrška i fleksibilnost za odabir pružatelja usluga na temelju samo-izbora: Korisnicima bi trebalo biti omogućeno da odaberu pružatelje zdravstvenih usluga prema vlastitom izboru.
- Omogućavanje socijalnih interakcija za dobrobit i zdravlje: Korisnicima bi trebalo biti omogućeno sudjelovanje u socijalnim interakcijama putem zdravstvenih aplikacija kako bi poboljšali svoje blagostanje i zdravlje.
- Fleksibilno i jednostavno za korištenje korisničkog sučelja: Korisnicima treba osigurati intuitivno i jednostavno korisničko sučelje koje olakšava upotrebu zdravstvenih aplikacija.

Zahtjevi pružatelja zdravstvenih usluga uključuju [12]:

- povećanje učinkovitosti operativnih procesa u e-Zdravstvu kako bi se pružale kvalitetnije usluge
- praćenje ponašanja kako bi se omogućile promjene u sustavu prema potrebi
- osiguravanje fleksibilnih podataka i integriteta usluga od trećih pružatelja
- osiguravanje privatnosti i tajnosti u obradi zdravstvenih podataka
- praćenje integriteta informacija i podataka s odgovornošću
- sigurna provjera autentičnosti i pristupa informacijama putem pametnih uređaja
- prilagodba preciznosti dijeljenja podataka na temelju uloga i ovlasti korisnika
- upravljanje bolničkom infrastrukturom i nadzor imovine
- omogućavanje globalnog pristupa osobnim podacima bilo kada i bilo gdje
- osiguravanje tehnologije za telemedicinu i sigurnu telekirurgiju.

U pogledu kašnjenja, zdravstvene aplikacije za daljinsko zdravstvo posebno su osjetljive na nisku latenciju. To znači da je važno da mreža pruža minimalno kašnjenje kako bi omogućila brzu i trenutnu razmjenu podataka između korisnika i pružatelja zdravstvenih usluga [12].

4.3 Primjena 5G mreže kod hitnih mobilnih zdravstvenih usluga

5G tehnologije se primjenjuje u hitnim zdravstvenim uslugama s ciljem poboljšanja kvalitete i učinkovitosti skrbi pacijenata u ambulanti. Arhitektura za mobilnu hitnu pomoć temelji se na ključnim karakteristikama 5G tehnologije, uključujući veliku brzinu prijenosa, nisku latenciju i veliku vezu. Sastoji se od četiri dijela [13]:

- terminalnog akvizicijskog sloja za prikupljanje informacija
- mrežnog prijenosnog sloja za siguran prijenos
- sloja za povezivanje podataka za obradu i analizu podataka
- sloja aplikacije za implementaciju različitih informacijskih aplikacija.

Prednosti primjene 5G u hitnim zdravstvenim uslugama uključuju brzi prijenos informacija između ambulantskih vozila i medicinskih centara, personaliziranu medicinsku skrb temeljenu na analizi podataka te razvoj pametnih mobilnih medicinskih usluga kao što su daljinsko savjetovanje i dijagnostika na daljinu.

No, primjena 5G tehnologije suočava se s izazovima poput potrebe za standardima i regulativnim okvirom te daljnjim istraživanjem i evaluacijom u stvarnim uvjetima hitne medicinske službe. Unatoč izazovima, integracija 5G tehnologije u hitnu pomoć može pružiti brojne koristi i poboljšati zdravstveni sustav u cjelini [13].

Slika 19. prikazuje cjelokupnu strukturu pred bolničke skrbi za hitnu pomoć temeljenu na 5G tehnologiji. Arhitektura se sastoji od četiri dijela koji igraju ključnu ulogu u osiguravanju funkcionalnosti i uspješnog funkcioniranja sustava.

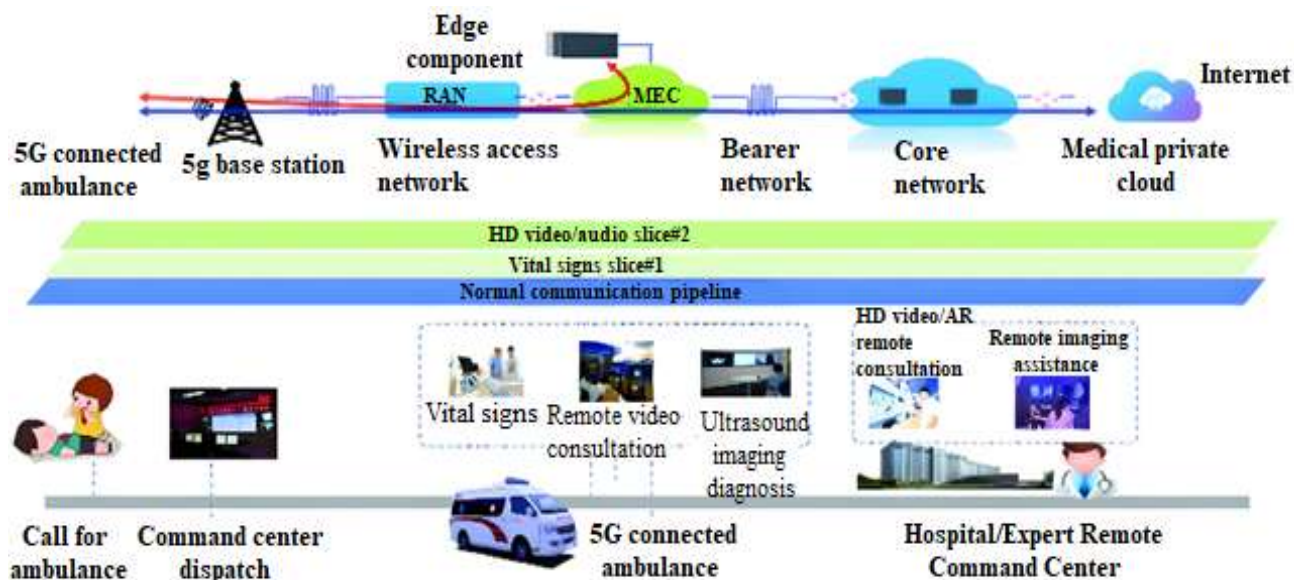


Slika 19. Cjelokupna struktura pred bolničke skrbi za hitnu pomoć temeljenu na 5G tehnologiji.

Izvor: [13]

Razvoj mogućnosti rezanja mreže za inteligentna hitna vozila igra ključnu ulogu u osiguravanju pouzdanog prijenosa važnih hitnih podataka putem diferencijacije QoS (*eng. Quality of Service*) konfiguracije. Za pokrivenost bežične mreže, koristi se konvergirana metoda pokrivanja koja kombinira 4G i 5G mreže. 4G mreža pruža osnovnu pokrivenost, dok 5G mreža pruža osnovnu nosivu sposobnost [14].

Kao što je prikazano na slici 20. temeljem 5G tehnologije, izgrađena je posvećena bežična mreža za hitne slučajeve koja omogućuje kontinuirano pokrivanje u zatvorenim i otvorenim prostorima te pružanje internetskih usluga u stvarnom vremenu bez prekida. Upravljanje virtualnom kontrolom privatne mreže koristi se za osiguravanje QoS garancije i drugih tehnologija kako bi se zadovoljili zahtjevi povezivanja s bolničkom mrežom, udaljenom medicinskom mrežom i mrežom za hitnu medicinsku pomoć. Tehnologija rezanja mreže omogućuje raspodjelu mrežnih resursa korisnicima industrije uz postizanje izolacije mreže.



Slika 20. Dijagram arhitekture cjelokupne procesne mreže za hitne slučajeve m-zdravstvene usluge

Izvor: [13]

Kroz 5G opremu za bežični pristup izvan bolnice, 5G hitna mreža pristupa javnoj 5G mreži i dodjeljuje preferencijalne kanale putem prioritete identifikacije posebnih usluga za hitna vozila. Ova prioriteta identifikacija omogućuje prioritizaciju hitnih slučajeva kao što su prva pomoć u pokretnom stanju i prijenos kritično bolesnih pacijenata. Također se koriste namjenski visokokvalitetni kanali kako bi se osigurali privremeni namjenski cjevovodi za mobilnu hitnu pomoć. Ovi cjevovodi dodjeljuju veću propusnost ili manju latenciju hitnim liječenjima, pružajući tako više vremena za liječenje pacijenata u hitnim situacijama [13].

Tijekom predbolničke njege, ključni podaci u ambulanti uključuju ultrazvučne slike, audio i video snimke te vitalne podatke. Prijenos tih podataka u stvarnom vremenu prema bolnici ili zapovjednom centru igra iznimno važnu ulogu. Uz pomoć 5G tehnologije, ovi podaci mogu se brzo prikupljati i prenositi, omogućujući liječnicima da daljinski prate pacijenta i postave preliminarnu dijagnozu prije njihovog dolaska u bolnicu. To stvara "zeleni kanal" za hitno liječenje pacijenata, štedeći vrijeme i medicinske resurse [14].

Primjerice, ultrazvučni videozapisi mogu se prenositi u stvarnom vremenu putem 5G tehnologije vidljivo na slici 21. Oni omogućuju liječnicima daljinski pregled i pružanje smjernica

tijekom prijenosa. To smanjuje operativne troškove i omogućuje izbjegavanje nepotrebnih hospitalizacija jer će liječnici moći donijeti odluku prije dolaska pacijenta u bolnicu.



Slika 21. Prijenos ultrazvučne slike za vrijeme prijevoza pacijenta

Izvor: [15]

U hitnim situacijama, video komunikacija igra ključnu ulogu. Prikazano na slici 22. liječnik u vozilu hitne pomoći može uspostaviti mobilni video poziv s bolničkim centrom kako bi procijenio stanje pacijenta i dobio smjernice za liječenje. Korištenjem 5G tehnologije, brz i pouzdan prijenos zvuka, videa i drugih podataka omogućuje stručnjacima bolnice da pruže precizne smjernice. Ova komunikacija omogućuje bolju koordinaciju između timova i bržu skrb za pacijente. Osim toga, smanjuje potrebu za transportom pacijenata u bolnicu, jer se hitna skrb može pružiti uz pomoć daljinskog savjetovanja. Kombinacija visokokvalitetnog videa i drugih podataka omogućuje cjelovitu sliku o pacijentovom stanju i pruža bržu i učinkovitiju skrb.



Slika 22. Prijenos videa iz vozila hitne pomoći u stvarnom vremenu

Izvor: [13]

Inteligentno daljinsko usmjeravanje u hitnim slučajevima zahtijeva visokokvalitetan prijenos videozapisa visoke razlučivosti bez prekida u stabilnom mrežnom okruženju. Stručnjaci za hitne slučajeve ili bolnički liječnici koriste videozapise visoke rezolucije, medicinske slike i elektroničku medicinsku dokumentaciju u stvarnom vremenu kako bi razumjeli stanje pacijenta i pružili smjernice spasiteljima na terenu. Kako bi se smanjili troškovi i optimalno iskoristili mrežni resursi, ovi videozapisi se komprimiraju prije prijenosa putem 5G mreže s velikom širinom pojasa. Na taj način se osigurava brza i učinkovita razmjena podataka za optimiziranu hitnu skrb [14].

U hitnim situacijama, praćenje vitalnih znakova u stvarnom vremenu je ključno za brzu procjenu pacijentovog stanja od strane bolničkih liječnika. Oprema za hitnu pomoć je opremljena sensorima za mjerenje vitalnih znakova kao što su temperatura, krvni tlak, puls, brzina disanja, zasićenost kisikom, elektroencefalogram (EEG) i elektrokardiogram (EKG). Na slici 23. prikazan je primjer praćenja vitalnih znakova pacijenta [13].



Slika 23. Praćenje vitalnih znakova pacijenta u realnom vremenu

Izvor: [13]

Prijenos ovih podataka ima važnu ulogu u dijeljenju informacija unutar bolnice, daljinskoj dijagnozi i pripremi pacijenata za pružanje prve pomoći. Prijenos podataka medicinske opreme prije bolničke skrbi omogućuje pohranu detaljnih informacija i olakšava analizu podataka za istraživanje i kontrolu kvalitete. Omogućava interakciju između hitnih centara, vozila hitne pomoći i hitnih medicinskih jedinica. Potpuno praćenje pacijenata putem medicinskog nadzora poboljšava vrijeme reakcije u spašavanju pacijenata, preciznost i brzinu planiranja i djelovanja u hitnim situacijama, smanjujući stopu smrtnosti i invalidnosti [16].

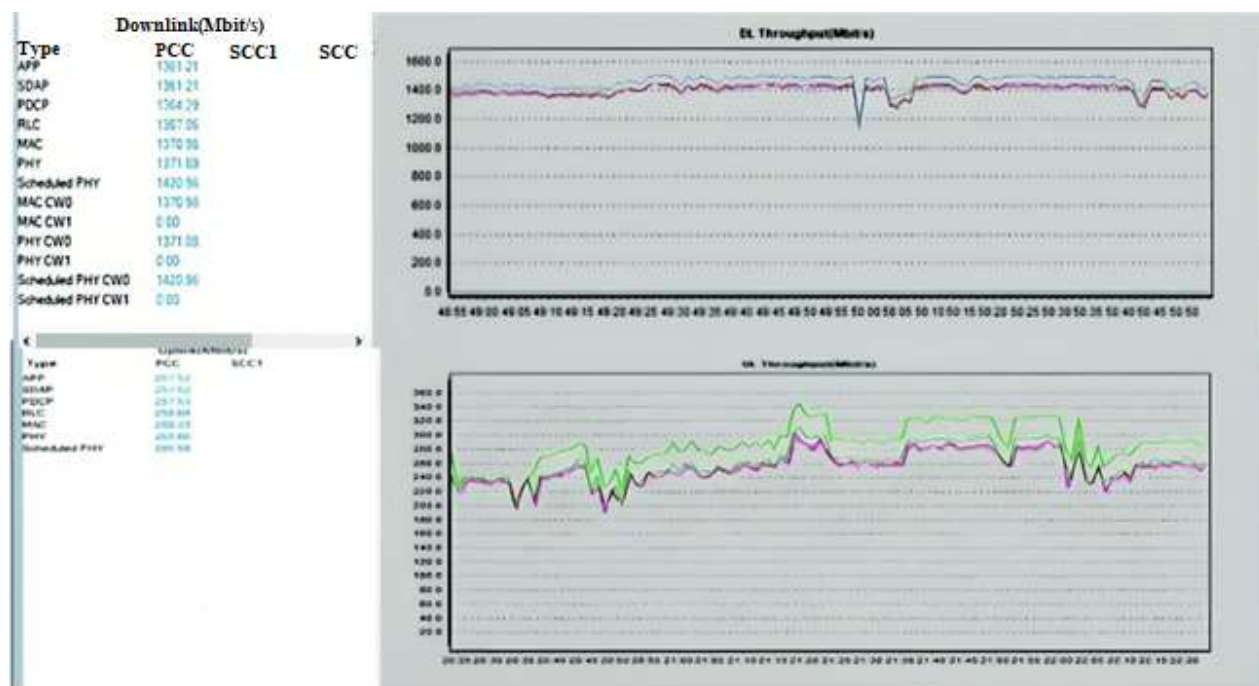
Prema tablici 5. za prijenos slika (poput ultrazvučnih slika, videa visoke razlučivosti) i interakciju videozapisa, postavljaju se određeni zahtjevi za mrežnu konfiguraciju. To uključuje brzinu uzlazne veze veću od 20 Mbit/s, brzinu silazne veze veću od 5 Mbit/s i kašnjenje mreže manje od 80 ms za ultrazvučne slike. Za video interakciju, zahtijeva se brzina uzlazne veze veća od 20 Mbit/s, brzina silazne veze veća od 20 Mbit/s i kašnjenje mreže manje od 50 ms. Prilikom praćenja vitalnih znakova brzina uzlazne veze treba biti veća od 10 Mbit/s, brzina silazne veze veća od 10 Mbit/s, a kašnjenje mreže manje od 50 ms.

Tablica 5. Zahtjevi za mrežnu konfiguraciju prilikom prijenos slika u hitnim slučajevima

| Primjena u ambulanti | Daljinska slikovna dijagnostika | Udaljeno usmjeravanje snimaka (na temelju HD video interakcije) | Praćenje vitalnih znakova |
|---|--|--|----------------------------------|
| Vrste podataka | Ultrazvučna slika | 1080P/4K video | Podaci o vitalnim znakovima |
| Brzina uzlazne veze (jedan uređaj) | >20 Mbit/s | >20 Mbit/s | >10 Mbit/s |
| Brzina silazne veze (jedan uređaj) | >5 Mbit/s | >20 Mbit/s | >10 Mbit/s |
| Broj priključaka uređaja | >3 | >5 | >3 |
| Kašnjenje mreže (jednosmjerno) | <80 ms | <50 ms | <50 ms |
| Zahtjevi mobilnosti | 0 – 120 km/h | | |
| Zahtjevi pouzdanosti | 99,99% | | |
| Zahtjevi kašnjenja | <30 ms | <20 ms | <20 ms |

Izvor: [13]

Slika 24. prikazuje rezultate mjerenja brzina prijenosa unutar vozila nakon primjene 5G privatne mreže. Brzina preuzimanja doseže 1361,21 Mbit/s, dok brzina prijenosa doseže 257,52 Mbit/s, što u potpunosti zadovoljava zahtjeve za normalnu uporabu u gore navedenim tipičnim aplikacijama. Prijenos kontinuiranih ultrazvučnih slika visoke razlučivosti od oko 200 MB traje samo nekoliko sekundi, što je značajno brže u usporedbi s prijenosom putem 4G mreže. Ovo značajno poboljšava učinkovitost prijenosa podataka i omogućuje brz prijenos 4K HD videa unutar vozila bez zastoja i kašnjenja. Također, 5G osigurava pouzdan prijenos podataka o vitalnim znakovima, kao što su podaci iz EKG monitora i ventilatora.



Slika 24. Izmjerena brzina prijenosa podataka u vozilu povezano na 5G

Izvor: [13]

4.4 Primjena 5G mreže u telemedicini

5G omogućuje poboljšanu hitnu medicinsku pomoć i telekirurgiju, pružajući brzu i preciznu komunikaciju između liječnika i robotskih kirurških sustava.

U tablici 6. prikazano je istraživanje koje je provedeno od strane *Wego Group*, dokazana je izvodljivost tele-pomoćne operacije pomoću 5G tehnologije. U četiri operacije na svinjskom modelu (nefrektomija, djelomična hepatektomija, kolecistektomija i cistektomija), korišten je *MicroHand* robotski sustav. Kirurg je bio smješten u Qingdaou (Shandong, Kina), dok je robot bio smješten u Anshunu (Guizhoun, Kina), na udaljenosti većoj od 2000 kilometara. Latencija 5G mreže iznosila je 264 ms, u usporedbi s 206 ms preko kablovske mreže. U drugom istraživanju, koje je provedeno na fantomskom modelu, zabilježena je latencija do 60 ms, što je znatno manje od prethodno spomenutog istraživanja [17].

Ova istraživanja su pokazala da je tele-pomoćna operacija pomoću 5G tehnologije izvediva, iako se još uvijek rade naporu kako bi se smanjila latencija i osigurala što bolja i preciznija komunikacija između kirurga i robota.

Tablica 6. Studije o 5G u telekirurgiji

| Study | Country | Type of telesurgery | Device | Application | Distance | Latency | Speed |
|-------------------------|---------------|---|---|---------------------|------------------|--------------------------|--|
| Zheng et al, 2020 [46] | China | Robot-assisted surgery | MicroHand by WEGO Group (China) | Animal model | 1,768 km | 264 ms | 1 Gb/s |
| Jell et al, 2019 [47] | Germany | Robot-assistance system to hold the laparoscope | SoloAssist by AKTORmed (Germany) | Phantom model | -- | 60 ms | From 7.2 to 8 MB/s |
| Tian et al, 2020 [48] | China | Spinal surgery | TiRobot by TINAVI Medical Tehncologies (China) | Patients (n=12) | 70 – 112 km | -- | -- |
| Madder et al, 2020 [49] | United States | Coronary surgery (simulated) | CorPath GRX by Corindus (United States) and ANGIO Mentor simulator by Symbionix – Surgical Science (Sweden) | Virtual model (n=2) | 331.5 – 4,965 km | From 86.8 ms to 162.5 ms | |
| Lacy et al, 2019 [50] | Spain | Laparoscopy (telementoring) | Laparoscope by Olympus (Japan) | Patients (n=2) | 4 and 6.1 km | From 146 ms to 202 ms | 98-101 Mb/s for both download and upload |
| Xie et al 2021 [51] | China | Cardiac surgery (telementoring) | -- | Patient (n=1) | 400 km | 30 ms | 25 Mb/s |
| Lu et al 2021 [52] | China | Ophthalmic surgery (telementoring) | NGENU- ITY by Alcon (United States) | Patients (n=2) | 1,4 km | 250 ms | 8-20 Mb/s -- |

Izvor: [17]

4.4.1 Telerobotska kralježnička kirurgija

Provedeno je istraživanje na 12 pacijenata kojima je izvedena telerobotska operacija kralježnice koristeći 5G tehnologiju. Prvi operater koji je kontrolirao robota bio je smješten u Pekingu, Kina, dok su drugi centri bili udaljeni. Mrežna latencija iznosila je 28 ms, što je omogućilo uspješno izvođenje operacija. Također je istražen novi model daljinske operacije pod nazivom "jedan na mnoge", gdje jedan kirurg može pružiti kiruršku skrb u više udaljenih bolnica istovremeno. Mogućnosti 5G mreže omogućuju ovakav oblik daljinske kirurgije i multicentričnih operacija [18].

4.4.2 Manipulacija tele-endovaskularnim stentom

U istraživanju tele-endovaskularnog *stentinga*, stručni interventni kardiolog iz Bostona kontrolirao je robota za vaskularne operacije putem 5G mreže. Robot je bio smješten u New Yorku i San Franciscu, udaljenim 331 i 4964 km od kirurga. Latencija 5G mreže bila je $162,5 \pm 1,1$ ms od Bostona do San Francisca i $86,6 \pm 0,6$ ms od Bostona do New Yorka. Rezultati su pokazali da je tele-endovaskularna procedura izvediva i da se može primijeniti na stvarnim pacijentima s velikih udaljenosti. Ovaj sustav može se koristiti za liječenje kritične ishemije udova i moždanog udara na daljinu [17].

4.4.3 Telementorstvo

Telementorstvo je primijenjeno u području laparoskopske kirurgije, gdje su mentor i mentorirani kirurg komunicirali u stvarnom vremenu putem audiovizualnog sustava. Mentor je mogao koristiti telestraciju, tj. crtanje na ekranu prijenosnog računala, kako bi mentorirao kirurga. Također je primijenjeno telementorstvo u slučaju urođene srčane bolesti pacijenta, gdje je mentor koristio scenu virtualne stvarnosti i audio streaming u stvarnom vremenu putem 5G mreže kako bi pružio smjernice kirurgu. Telementorstvo je također primijenjeno u vitreoretinalnoj operaciji [17].

4.4.4 Stimulacija kralježnice

U multicentričnoj studiji na 64 pacijenta testiran je bežični uređaj za stimulaciju leđne moždine za liječenje Parkinsonove bolesti. Uređaj je bio povezan s pametnim telefonom pacijenta putem aplikacije koja im je omogućavala komunikaciju s liječnikom i upravljanje simptomima. Liječnik je putem 5G veze mogao prilagoditi parametre uređaja i provjeriti stanje baterije. Ovo omogućuje pacijentima iz ruralnih područja da izbjegnu putovanje i olakšava njihovu komunikaciju s liječničkim timom [18].

5. ANALIZA BUDUĆEG RAZVOJA SUVREMENIH TEHNOLOGIJA U PODRUČJU MEDICINE

Tehnologija je već pomogla da zdravstvena skrb bude bolja, ali postoji još mnogo toga što se može učiniti. Stvari poput umjetne inteligencije, super brzog interneta, pametnih uređaja, virtualne stvarnosti i posebnih senzora dio su onoga što će medicinu u budućnosti učiniti još boljom. Jedna važna stvar u vezi s ovim napretkom je da će liječnici svakoj osobi moći dati odgovarajući tretman za nju. Pomoću posebnih alata i računalnih programa razumjet će kako funkcionira tijelo svake osobe i kakav stil života ima. To će im pomoći da daju bolje tretmane i da se ljudi osjećaju bolje s manje loših učinaka. Medicina na daljinu postat će popularnija i važnija [10].

Super brzi 5G internet pomoći će liječnicima da razgovaraju s pacijentima i vide ih na videu. Također, moći će provjeriti kako su pacijenti pomoću posebnih uređaja koji od kuće mogu pratiti njihovo tijelo i zdravlje. To će liječnicima olakšati pružanje dobre medicinske skrbi čak i kada nisu na istom mjestu kao i pacijenti.

Umjetna inteligencija, poput je pametnog računala koje može pomoći liječnicima da bolje pronađu i razumiju bolesti. Može vrlo brzo pregledati mnogo medicinskih podataka i reći je li netko bolestan ili bi se mogao razboljeti u budućnosti. To može pomoći liječnicima da rano otkriju bolest i spriječe njeno pogoršanje. Umjetna inteligencija također može pomoći znanstvenicima da brže pronađu nove lijekove i tretmane, tako da mogu brže pomoći bolesnim ljudima. U budućnosti će roboti biti sve bolji u obavljanju operacija. Moći će točnije i s manje rezanja izvoditi zahtjevne operacije. Također će moći obavljati operacije na udaljenim mjestima koristeći stvarno brz internet. To će pomoći liječnicima da pruže medicinsku pomoć ljudima kojima je potrebna, čak i ako ne mogu osobno doći. Nove tehnologije poput računala i virtualne stvarnosti pomoći će liječnicima i znanstvenicima da nauče više o bolestima i pronađu nove načine za njihovo liječenje [19].

Koristit će mnogo informacija kako bi bolje razumjeli bolesti i pronašli nove stvari u ljudskim tijelima koje mogu pomoći razvoju medicine. Također će koristiti posebne alate za virtualnu stvarnost kako bi se pretvarali da su u laboratoriju i radili eksperimente brže i jeftinije. Iako postoji puno važnih stvari koje se mogu uraditi s umjetnom inteligencijom, postoje i neki problemi koji se moraju riješiti. Mora se postići sigurnost da će podaci ljudi biti sigurni i privatni te da slijede pravila i rade stvari na pošten i moralan način [16].

Uvođenje 5G mrežne tehnologije omogućuje implementaciju nekoliko zanimljivih aplikacija koje mogu revolucionirati zdravstveni sektor [12]:

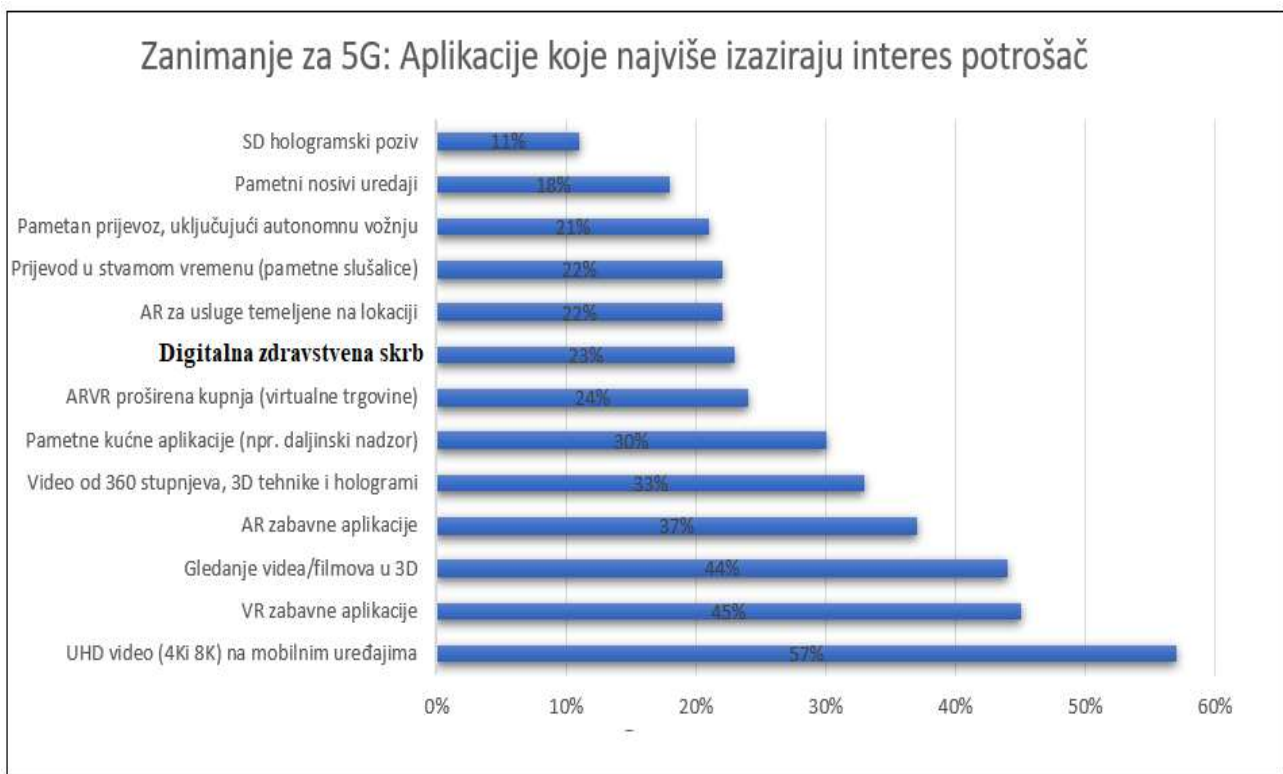
- Praćenje i upravljanje bolničkom opremom: Korištenjem aplikacija za praćenje imovine, bolnice mogu pratiti lokaciju i status različite medicinske opreme poput invalidskih kolica, EKG monitora, infuzijskih pumpi itd. To omogućuje učinkovito upravljanje imovinom, sprečavanje krađe i poboljšanje operativnih procesa.
- Interventno zakazivanje i upravljanje: Za složene operacije poput transplantacija organa, aplikacije mogu koristiti podatke o dostupnosti organa, operacijskim dvoranama, kliničkom osoblju i kliničkoj povijesti pacijenta kako bi olakšale pametno zakazivanje i upravljanje operacijama.
- Operacije potpomognute robotima: 5G mrežna tehnologija omogućuje minimalnu latenciju, što je ključno za daljinske operacije potpomognute robotima. Kirurzi mogu upravljati robotima izvan operacijskih dvorana, smanjujući vrijeme i troškove te pružajući pristup stručnom znanju kirurga na daljinu.
- Daljinsko praćenje zdravlja: Pacijenti mogu koristiti uređaje za praćenje zdravlja koji prikupljaju vitalne znakove i druge podatke te ih prenose pružateljima zdravstvene skrbi u stvarnom vremenu. To omogućuje brže reagiranje na promjene u zdravstvenom stanju pacijenta i personalizirane preporuke za zdrav život.
- Pametni lijekovi i liječenje: Uz pomoć 5G mreže, uređaji za daljinsko nadgledanje mogu automatski donositi odluke i poduzimati akcije u ime liječnika. Na primjer, u slučaju hitnih situacija kao što je moždani udar, uređaji mogu pružiti neposredno liječenje kako bi poboljšali šansu za oporavak pacijenta.

Ove aplikacije iskorištavaju brzinu, kapacitet i nisku latenciju koje pruža 5G mrežna tehnologija. Poboljšana povezanost omogućuje precizno praćenje i prijenos podataka u stvarnom vremenu, poboljšavajući dijagnostiku, liječenje i skrb o pacijentima.

Prema istraživanjima 23% potrošača pokazuje interes za primjenu 5G mreža u području digitalne zdravstvene zaštite, posebno u pogledu daljinske dijagnostike. To znači da postoji značajan udio ljudi koji su svjesni potencijalnih prednosti 5G tehnologije u zdravstvu i izražavaju interes za njezinu primjenu kao što slika 25. i prikazuje [14].

Daljinska dijagnostika, omogućena brзом i pouzdanom 5G mrežom, ima potencijal da transformira način na koji se provode medicinski pregledi i dijagnostika. Pacijenti bi mogli koristiti napredne uređaje za praćenje zdravlja koji bi prikupljali vitalne znakove i druge relevantne podatke te ih prenosili zdravstvenim stručnjacima u stvarnom vremenu. To bi omogućilo bržu i precizniju dijagnozu, smanjilo potrebu za fizičkim posjetima liječniku i poboljšalo pristup zdravstvenoj skrbi.

Ovi rezultati studije ukazuju na to da potrošači prepoznaju potencijal 5G mreža u području digitalne zdravstvene zaštite i izražavaju interes za njihovu primjenu. To može potaknuti daljnji razvoj i implementaciju 5G tehnologije u zdravstvenom sektoru kako bi se ostvarile prednosti koje pruža [12].



Slika 25. 5G interes potrošača za digitalnu zdravstvenu zaštitu

Izvor: [12]

Složeni i sveobuhvatni izazovi u vezi primjene 5G mreža u zdravstvu zahtijevaju opsežna istraživanja, inovacije i tehničku podršku kako bi se osigurao uspjeh. Sigurnost, privatnost podataka, pouzdana povezanost, optimizacija potrošnje energije i upravljanje uređajima ključni su aspekti koji zahtijevaju pažnju i razvoj adekvatnih rješenja.

Implementacija 5G mreža u zdravstvu može donijeti ogromne koristi, poput pristupa zdravstvenim uslugama u udaljenim područjima, poboljšane komunikacije između medicinskog osoblja i pacijenata, optimizacije postupaka i dijagnostike te bolje kvalitete zdravstvene skrbi. No, kako bi se ostvarili te mogućnosti, potrebno je se suočiti s izazovima i razviti inovativna rješenja koja će osigurati sigurnost, pouzdanost i učinkovitost sustava [19].

U konačnici, 5G mreže imaju potencijal da transformiraju zdravstveni sektor, ali za to je potrebno uložiti napore u istraživanje, razvoj i implementaciju kako bi se osiguralo da se svi izazovi uklone i da se ostvari maksimalni potencijal ove tehnologije za unapređenje zdravstvene skrbi.

Primjena 5G tehnologije omogućava poboljšanje prijenosa pacijenata, liječenja, njege na odjelu i kontrole javnih površina. Međutim, suočava se s izazovima poput uspostave cjelovitih 5G medicinskih standarda i poboljšanja upravljanja i protoka podataka za medicinske primjene. Preporučuje se uspostava standarda, izgradnja demonstracijskih projekata i integracija novih tehnologija s medicinskim inovacijama kako bi se postigao uspjeh u primjeni 5G u medicini i zdravstvu.

6. ZAKLJUČAK

5G tehnologija predstavlja veliki napredak u uspostavi povezane zdravstvene skrbi koja će omogućiti poboljšano praćenje pacijenata, ubranu dijagnozu i poboljšanu komunikaciju između zdravstvenih djelatnika, pacijenata i uređaja. Nakon pažljivog ispitivanja karakteristika i strukture 5G mreže, kao i napretka u IoT konceptu, postalo je jasno da se medicinska industrija suočava s transformativnom promjenom u skrbi za pacijente. Izuzetno smanjeno vrijeme odziva, poboljšana pouzdanost i poboljšane brzine prijenosa podataka nude ogroman potencijal za stvaranje fleksibilne mreže koja potiče inovacije i utire put brojnim aplikacijama.

Poboljšanja kao što su telemedicina i mogućnost daljinskog praćenja vitalnih znakova, kao i razvoj inteligentnih uređaja za podršku dijagnostičarima, nude veliki potencijal za učinkovitiju, precizniju i personaliziranu skrb za pacijente. Ova transformacija omogućuje pristup medicinskim uslugama i onima koji su udaljeni od medicinskih centara, a istovremeno smanjuje opterećenje bolnica i klinika. Pacijenti mogu jednostavno komunicirati s medicinskim osobljem putem video poziva i drugih digitalnih kanala, što rezultira bržim konzultacijama i dijagnozom.

Analizirajući budući razvoj suvremenih tehnologija u medicini, postaje jasno da će 5G mreža imati ključnu ulogu u transformaciji zdravstva. Integracija umjetne inteligencije, naprednih senzora i drugih tehnoloških dostignuća i dalje će pokretati ovu promjenu. Na primjer, umjetna inteligencija moći će analizirati velike količine medicinskih podataka kako bi identificirala obrasce i rizike te pružila bolje informacije medicinskom osoblju za donošenje odluka.

Ukratko, implementacija 5G mreže u medicini znači više od same tehnološke promjene. Utire put poboljšanom zdravstvenom sustavu koji može iskoristiti puni potencijal moderne tehnologije. Unatoč neizbježnim izazovima koji se mogu pojaviti, veliki trud i domišljatost medicinske zajednice ključni su čimbenici koji će omogućiti postizanje izvanrednih rezultata i dovesti do bolje i progresivnije budućnosti zdravstva. Kroz suradnju između tehnoloških stručnjaka, medicinskih stručnjaka i regulatora, 5G tehnologija osnažit će zdravstveni sektor i postaviti ga na put prema inovacijama koje će neprocjenjivo oblikovati pružanje zdravstvene skrbi.

Literatura

- [1] Discover the power of 5G. Ericsson; 2023. Preuzeto s:
<https://www.ericsson.com/en/5g> [Pristupljeno: 2. svibnja 2023.]
- [2] Šišul G, Ilić Ž. 5G.hr. Povijesni razvoj javnih mobilnih mreža; 2021. Preuzeto s:
<https://www.5g.hr/tehnologija/povijesni-razvoj-javnih-mobilnih-mreza/> [Pristupljeno: 4. svibnja 2023.]
- [3] Liović H. Razvoj telekomunikacijskih mobilnih sustava. Osijek: Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku; 2019. Preuzeto s:
<https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2142/datastream/PDF/view>
[Pristupljeno: 15. svibnja 2023.]
- [4] Babić R. Generacije mobilnih mreža; 2021. Preuzeto s:
<http://roko-babic.from.hr/2021/10/31/seminarski-rad-generacije-mobilnih-mreza/>
[Pristupljeno: 24. svibnja 2023.]
- [5] Maček S. Razvoj i karakteristike mobilne mreže pete generacije. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2016. Preuzeto s:
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A379/datastream/PDF/view>
[Pristupljeno: 1. lipnja 2023.]
- [6] Cicvarić B. Utjecaj koncepta "Internet stvari" na organizaciju distribucijskih sustava. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2016. Preuzeto s:
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/fpz%3A573/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: 9. lipnja 2023.]

- [7] Burbank J. How 5G in healthcare can help IoT, wearables adoption. TechTarget; 2022. Preuzeto s: <https://www.techtarget.com/iotagenda/post/How-5G-in-healthcare-can-help-IoT-wearables-adoption> [Pristupljeno: 14. lipnja 2023.]
- [8] Georgiou K, Georgiou E, Satava R. 5G Use in Healthcare: The Future is Present. National Library of Medicine; PubMed Central; 2021. Preuzeto s: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8764898/> [Pristupljeno: 18. lipnja 2023.]
- [9] De Mattos W, Gondi P. M-Health Solutions Using 5G Networks and M2M Communications. IEEE; 2016. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7478516> [Pristupljeno: 22. lipnja 2023.]
- [10] Al-Jawad F, Alessa R, Alhammad S, Ali B, Al-Qanbar M, Rahman A. Applications of 5G and 6G in Smart Health Services. IJCSNS; 2022. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/359049068_Applications_of_5G_and_6G_in_Smart_Health_Services [Pristupljeno: 25. lipnja 2023.]
- [11] Kent C. 5G meets medicine: separating fact from fiction. Medical Device Network; 2019. Preuzeto s: <https://www.medicaldevice-network.com/features/5g-in-healthcare/> [Pristupljeno: 27. lipnja 2023.]
- [12] Padmashree T, Nayak S. 5G Technology for E-Health. IEEE; 2020. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9243403> [Pristupljeno: 27. lipnja 2023.]
- [13] Yu S, Yi F, Qiulin X, Liya S. A Framework of 5G Mobile-health Services for Ambulances. IEEE; 2020. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9295671> [Pristupljeno: 2. srpnja 2023.]

- [14] Li D. 5G and intelligence medicine—how the next generation of wireless technology will reconstruct healthcare? Oxford Academic; 2019. Preuzeto s:
<https://academic.oup.com/pcm/article/2/4/205/5591013?login=true> [Pristupljeno: 7. srpnja 2023.]
- [15] 5G connects ambulances to hospitals for more accurate diagnosis and critical treatment. Vodafone; 2023. Preuzeto s:
<https://www.vodafone.co.uk/business/5g-for-business/5g-customer-stories/connected-ambulance> [Pristupljeno: 7. srpnja 2023.]
- [16] Turner N. Enabling opportunities: 5G, the internet of things, and communities of color. Brookings; 2019. Preuzeto s:
<https://www.brookings.edu/articles/enabling-opportunities-5g-the-internet-of-things-and-communities-of-color/> [Pristupljeno: 9. srpnja 2023.]
- [17] Moglia A, Georgiou K, Marinov B, Georgiou E, Nice R, Satava R, Cuschieri A. 5G in Healthcare: From COVID-19 to Future Challenges. IEEE; 2022. Preuzeto s:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9792172> [Pristupljeno: 11. srpnja 2023.]
- [18] Tian W, Fan M, Zeng C, Liu Y, He D, Zhang Q. Telerobotic Spinal Surgery Based on 5G Network. National Library of Medicine; PubMed Central; 2020. Preuzeto s:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7136105/> [Pristupljeno: 11. srpnja 2023.]
- [19] Miliard M. 5G is here: How health systems can capitalize on the new cellular standard. Healthcare IT News; 2020. Preuzeto s:
<https://www.healthcareitnews.com/news/5g-here-how-health-systems-can-capitalize-new-cellular-standard> [Pristupljeno: 15. srpnja 2023.]

Popis kratica

| | |
|------|--|
| SMS | (Short Message Service) usluga kratkih poruka |
| MSC | (Mobile Switching Centre) mobilni komutacijski centar |
| PSTN | (Public Switched Telephone Network) javna telefonska mreža |
| NTT | (Nippon Telegraph and Telephone) Nippon telegraf i telefon |
| NMT | (Nordic Mobile Telephone) nordijski mobilni telefon |
| FDMA | (Frequency Division Multiple Access) višestruki pristup putem podjele frekvencija |
| RAN | (Radio Access Network) radijska pristupna mreža |
| AMPS | (Advance Mobile Phone Systems Service) usluga naprednog mobilnog telefonskog sustava |
| TDMA | (Time Division Multiple Access) višestruki pristup s vremenskom podjelom |
| CDMA | (Code Division Multiple Access) kodni višestruki pristup |
| GSM | (Global System for Mobile Communications) globalni sustav mobilnih komunikacija |
| DCS | (Digital Communication System) digitalni komunikacijski sustav |
| GMSC | (Gateway Mobile Switching Centre) prilazni pokretni komutacijski centar |
| MSC | (Mobile Switching Centre) pokretni komutacijski centar |
| BSS | (Base Station Subsystem) podsustav bazne stanice |
| BCS | (Base Station Controller) kontroler bazne stanice |
| BTS | (Base Transceiver Station) bazna primopredajna stanica |
| HLR | (Home Location Register) domaći lokacijski registar |
| VLR | (Visitor Location Register) gostujući lokacijski registar |
| AUC | (Authentication Center) centar za provjeru autentičnosti |
| EIR | (Equipment Identification Register) registar za identifikaciju opreme |

| | |
|---------|---|
| GPRS | (General Packet Radio Service) opća paketna radio usluga |
| EDGE | (Enhanced Data rates for GSM Evolution) poboljšane brzine prijenosa podataka za GSM evoluciju |
| MMS | (Multimedia Messaging Service) usluga multimedijских poruka |
| WCDMA | (Wideband Code Division Multiple Access) širokopolasni kodni višestruki pristup |
| HSPDA | (High-Speed Downlink Packet Access) paketni pristup velike brzine preuzimanja |
| HSPA+ | (Evolved High-Speed Packet Access) razvijeni paketni pristup velike brzine |
| LTE | (Long Term Evolution) dugotrajna evolucija |
| UMTS-a | (Universal Mobile Telecommunications System) univerzalni sustav mobilnih telekomunikacija |
| RNS | (Radio Network Subsystem) podsustav radijske mreže |
| UTRAN | (Universal Terrestrial Radio Access Network) UMTS zemaljska radijska pristupna mreža |
| UTRA | (Universal Terrestrial Radio Access) univerzalni zemaljski radio pristup |
| FDD | (Frequency Division Duplex) frekvencijsko dijeljenje s dupleksom |
| TDD | (Time Division Duplex) vremensko dijeljenje s dupleksom |
| IP | (Internet Protocol) Internet protokol |
| MIMO | (Multiple-Input Multiple-Output) višestruki ulaz višestruki izlaz |
| IoT | (Internet of Things) Internet stvari |
| DSS | (Dynamic Spectrum Sharing) dinamičko dijeljenje spektra |
| NB-IoT | (Narrowband Internet of Things) uskopolasni Internet stvari |
| 3GPP | (3rd Generation Partnership Project) partnerski projekt 3. generacije |
| LPWAN | (Low Power Wide Area Network) široka mreža male snage |
| OFDM | (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje |
| SC-FDMA | (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) višestruki pristup s frekvencijskom podjelom jednog nositelja |
| Li-Fi | (Light Fidelity) svjetlosna vrijednost |
| IPv6 | (Internet Protocol version 6) Internet protokol verzija 6 |
| IoE | (Internet of Everything) internet svega |
| M2M | (Machine to Machine) strojno komuniciranje s drugim strojem |

MTC (Machine-Type Communications) komunikacije strojnog tipa
QoS (Quality of Service) kvaliteta usluge

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1. Evolucije mobilne tehnologije | 5 |
| Slika 2. Prikaz ponovnog korištenja frekvencije u ćelijama | 6 |
| Slika 3. Koncept podjele ćelija..... | 7 |
| Slika 4. Telekomunikacijski sustav | 8 |
| Slika 5. Arhitektura GSM-a | 11 |
| Slika 6. Arhitektura UMTS-a | 14 |
| Slika 7. Razvoj mobilnih mreža od 3G do 4G u Europi | 15 |
| Slika 8. Razina latencije između 4G i 5G mreža..... | 17 |
| Slika 9. Usporedba brzina prijenosa podataka između 5G i ostalih..... | 18 |
| Slika 10. Arhitektura 5G mreže..... | 20 |
| Slika 11. Razlike u snazi signala različitih veličina | 21 |
| Slika 12. Mogućnosti IoT..... | 23 |
| Slika 13. Glavne komponente IoT..... | 24 |
| Slika 14. Vrste mreža za komunikaciju IoT | 25 |
| Slika 15. Slojevi sustava e-Zdravstva koji koristi 5G tehnologiju..... | 30 |
| Slika 16. Ključne mogućnosti 5G mreže za m-Zdravstvo..... | 31 |
| Slika 17. Pojednostavljena arhitektura M2M za mobilna zdravstvena rješenja..... | 33 |
| Slika 18. Mreže za e-Zdravstvo..... | 34 |
| Slika 19. Cjelokupna struktura pred bolničke skrbi za hitnu pomoć temeljenu na 5G tehnologiji..... | 37 |
| Slika 20. Dijagram arhitekture cjelokupne procesne mreže za hitne slučajeve m-zdravstvene usluge .. | 38 |
| Slika 21. Prijenos ultrazvučne slike za vrijeme prijevoza pacijenta | 39 |
| Slika 22. Prijenos videa iz vozila hitne pomoći u stvarnom vremenu | 40 |
| Slika 23. Praćenje vitalnih znakova pacijenta u realnom vremenu | 41 |
| Slika 24. Izmjerena brzina prijenosa podataka u vozilu povezano na 5G..... | 43 |
| Slika 25. 5G interes potrošača za digitalnu zdravstvenu zaštitu | 49 |

Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Karakteristike standarda –1G | 9 |
| Tablica 2. Karakteristike standarda –2G | 10 |
| Tablica 3. Evolucija interneta kroz pet valova umrežavanja..... | 27 |
| Tablica 4. Generacije mobilne komunikacije..... | 28 |
| Tablica 5. Zahtjevi za mrežnu konfiguraciju prilikom prijenos slika u hitnim slučajevima..... | 42 |
| Tablica 6. Studije o 5G u telekirurgiji..... | 45 |

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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 Primjena 5G mreže u medicini, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 5. rujan 2023.

Goran Pažin, Goran Pažin

(ime i prezime, potpis)