

# PRIMJENA INTERNETA STVARI U 5G MREŽI

---

**Stanojević, Marko**

**Graduate thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:026936>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Stručni diplomski studij Elektrotehnika

**MARKO STANOJEVIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**PRIMJENA INTERNETA STVARI U 5G MREŽI**

Split, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Stručni diplomski studij Elektrotehnika

**Predmet:** Senzorske mreže

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Marko Stanojević

**Naslov rada:** Primjena Interneta stvari u 5G mreži

**Mentor:** dr.sc. Tonko Kovačević, prof. v.š.

Split, rujan 2023.

## Sadržaj

Sažetak .....	1
<b>1. UVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Internet stvari .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Povijesni razvoj Interneta stvari .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Arhitektura Interneta stvari .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Bežične tehnologije u Internetu stvari .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. Primjena Interneta stvari .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.1. Primjena Interneta stvari u proizvodnoj industriji .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.2. Primjena Interneta stvari u zdravstvu .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.3. Primjena Interneta stvari u poljoprivredi .....</b>	<b>19</b>
<b>3. 5G mreža .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Povijesni razvoj mobilnih mreža .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Zahtjevi i karakteristike 5G mreže .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3. Arhitektura i princip rada 5G mreže .....</b>	<b>28</b>
<b>4. Primjena Interneta stvari u 5G mreži .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1. Prednosti i utjecaj 5G mreže na Internet stvari .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2. Analiza frekvencijskih pojaseva korištenih u 5G mreži .....</b>	<b>35</b>
<b>4.3. Primjena Interneta stvari u 5G mreži na primjeru autonomnih vozila .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4. Primjena Interneta stvari u 5G mreži na primjeru zdravstva .....</b>	<b>47</b>
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>49</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>50</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>53</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>54</b>
<b>PRILOZI .....</b>	<b>55</b>

## **Sažetak**

### **Primjena Interneta stvari u 5G mreži**

Ovaj rad objašnjava Internet stvari kao tehnologiju i njegovu primjenu u 5G mreži. Opisana je arhitektura Interneta stvari, mrežne tehnologije koje su u upotrebi kod Interneta stvari te primjeri primjene Interneta stvari u stvarnom životu. Opisane su značajke 5G mreže, mrežna arhitektura te zahtjevi i karakteristike. Predstavljeni su primjeri primjene Interneta stvari u 5G mreži i određeni proračuni koji ukazuju na prednosti primjene 5G mreže u odnosu na druge mrežne tehnologije.

**Ključne riječi:** Internet stvari, 5G mreža, mrežna arhitektura, primjena, latencija, kapacitet kanala

## **Summary**

### **Application of the Internet of Things in the 5G network**

This paper explains the Internet of Things as a technology and its application in the 5G network. The architecture of the Internet of Things, the network technologies used in the Internet of Things and examples of the application of the Internet of Things in real life are described. The features of the 5G network, network architecture and requirements and characteristics are described. Examples of the application of the Internet of Things in the 5G network and certain calculations that indicate the advantages of the application of the 5G network compared to other network technologies are presented.

**Key words:** Internet of Things, 5G network, network architecture, application, latency, channel capacity

## 1.UVOD

Internet stvari ili IoT (eng. Internet of Things) predstavlja mrežu međusobno povezanih uređaja koji imaju sposobnost međusobnog povezivanja i razmjene podataka. To su hardverski uređaji kao što su: senzori, kućanski uređaji, strojevi i drugi uređaji koji prikupljaju podatke za razmjenu s drugim uređajima. Takvi uređaji imaju ugrađen softver koji je programiran za određene primjene. Također sadrže integriranu centralnu procesnu jedinicu (CPU), mrežni adapter i *firmware*. Da bi uređaji mogli međusobno slati i primiti podatke i informacije, trebaju biti spojeni na mrežu koja može biti žična ili bežična. Jedan od primjera žične izvedbe mreže je spajanje pomoću dvožilnih bakrenih kabela s uvijenim paricama ili pomoću kabela s optičkim vlaknima. Žičana mreža se najčešće koristi kod spajanja čvorišta ili mrežnih preklopnika. Bežične mreže možemo podijeliti na mreže kratkog dometa, srednjeg dometa i dalekog dometa. Neke od mreža kratkog dometa su: bluetooth, Wi – Fi, Zigbee, RFID i NFC. Kao primjer za mreže srednjeg dometa mogu se dati mobilne mreže kao što su LTE (4G) i NR (5G). Jedan od primjera izvedbe mreže dalekog dometa je satelitska komunikacija kao što je VSAT (eng. Very Small Aperture Terminal). U okviru ovog završnog rada bit će analizirana primjena interneta stvari u 5G ili *New Radio* mreži koja je u okvirima interneta stvari mreža srednjeg dometa.

Internet stvari je u sve široj uporabi, ima primjene u raznim granama industrije kao što su: građevinarstvo („pametne“ kuće), autoindustrija, poljoprivreda, medicina, transport i vojna industrija.

Neki od specifičnih primjera primjene su osoba s implantatom za praćenje srčanog ritma, domaća životinja s biočipom, automobil koji ima ugrađene senzore koji upozoravaju vozača kada je tlak u gumama nizak ili bilo koja druga informacija koju je moguće adresirati i poslati preko mreže [1].

Na slici 1.1. prikazana je ilustracija nekih od primjena Interneta Stvari.



Slika 1. Primjena Interneta stvari [2]

Zahtjevi ovog završnog rada su opisati i analizirati Internet Stvari kao tehnologiju, predstaviti njegov razvoj, proučiti i predstaviti IoT uređaje i njihovu strukturu, predstaviti uporabu i primjenu Interneta Stvari, njegove prednosti i nedostatke te sigurnosne rizike. Također je potrebno predstaviti 5G mobilnu mrežu i njen razvoj i usporedbu s mobilnim tehnologijama koje su joj prethodile, njenu mrežnu arhitekturu i karakteristike.

Bit će predstavljen i opisana primjena Interneta Stvari u 5G mreži i analizirati će se i predstaviti rezultati simulacije interakcije IoT uređaja u 5G mreži. Simulacija je izvedena pomoću programskog paketa MATLAB.

Ciljevi završnog rada su uvid i bolje razumijevanje načina rada Interneta stvari i načina rada i mrežne topologije 5G mreže, kao i spoznaja i razumijevanje načina primjene Interneta Stvari u 5G mreži.

## 2. Internet stvari

Internet stvari predstavlja veliku mrežu fizičkih objekata i uređaja, sposobnih da komuniciraju, dijele podatke i surađuju putem podatkovnih mreža. Ovaj koncept omogućava svakodnevnim objektima, od kućanskih aparata i vozila do industrijskih strojeva i uređaja, sposobnost da samostalno prikupljaju, prenose i razmjenjuju informacije.

U svojoj srži, Internet stvari koristi kombinaciju senzorske tehnologije, ugrađenih računalnih sustava i bežične komunikacije kako bi omogućio praćenje u stvarnom vremenu, upravljanje i analizu različitih aspekata našeg okruženja. Ova mreža povezanih uređaja stvara složenu mrežu tokova podataka, generirajući obilje informacija koja se može iskoristiti za poboljšano donošenje odluka, povećanu učinkovitost i inovativne usluge. Kao temelj digitalnog doba, Internet stvari nudi nevjerojatne prilike industrijama, poslovnim subjektima i pojedincima da ga iskoriste za optimizaciju procesa, poboljšanje korisničkog iskustva i vođenje novih poslovnih modela.

Utjecaj Interneta stvari je sveprisutan, protežući se kroz različite sektore, uključujući pametne gradove, poljoprivredu, zdravstvo, proizvodnju i prijevoz. S potencijalom da poboljša lanac opskrbe, automatizira repetitivne zadatke i stvori inteligentne ekosustave, Internet stvari je spreman preoblikovati način na koji upravljamo s fizičkim svijetom i revolucionirati industrije na globalnoj razini. Međutim, ovakvo brzo širenje povezanih uređaja također izaziva ključne zabrinutosti u vezi s privatnošću podataka, sigurnošću i etičkim implikacijama, naglašavajući potrebu za snažnim okvirima i standardima kako bi se zaštitio integritet i privatnost informacija razmijenjenih unutar ekosustava Interneta stvari.

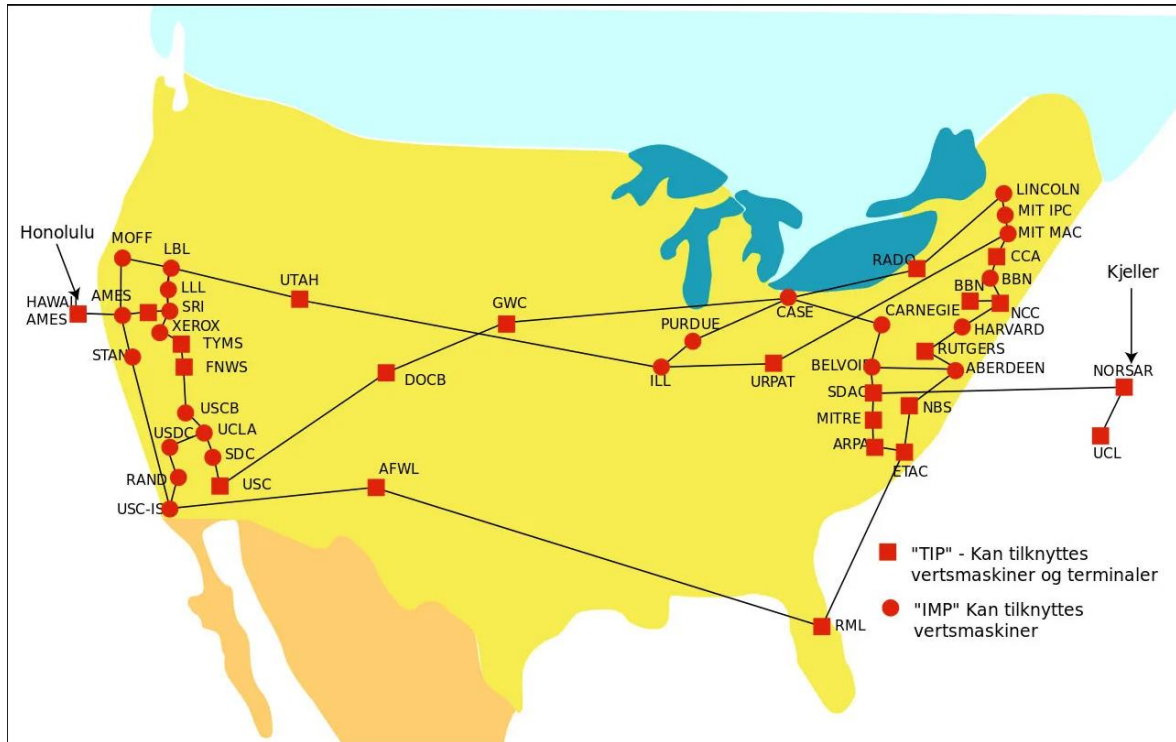


## 2.1. Povijesni razvoj Interneta stvari

Iako primjeri međusobno povezanih elektroničkih uređaja postoje još u ranom 19. stoljeću, s izumom telegrafa i njegovom sposobnošću prijenosa informacija kodiranim signalom na daljinu, početak Interneta stvari seže u kasne 1960-e. Tada je skupina istaknutih istraživača počela istraživati načine povezivanja računala i sustava. Glavni primjer ovog rada bio je ARPANET, mreža koju je stvorila Agencija za napredne istraživačke projekte (ARPA) Ministarstva obrane SAD-a; ova mreža je bila preteča današnjeg Interneta. U kasnim 1970-ima tvrtke, vlade i potrošači počeli su istraživati načine međusobnog povezivanja osobnih računala (PC) i drugih strojeva. Do 1980-ih lokalne mreže (LAN) pružale su učinkovit i naširoko korišten način komunikacije i dijeljenja dokumenata, podataka i drugih informacija preko grupe osobnih računala u stvarnom vremenu [3].

Do sredine 1990-ih Internet je globalno proširio te mogućnosti, a istraživači i tehnolozi počeli su istraživati načine na koje bi se ljudi i strojevi mogli bolje povezati. Godine 1997. britanski tehnolog Kevin Ashton, suosnivač Auto-ID centra na MIT-u, počeo je istraživati tehnološki okvir, radiofrekvencijsku identifikaciju (RFID), koji bi omogućio povezivanje fizičkih uređaja putem mikročipova i bežičnih signala, a bilo je govora o tome da je 1999. Ashton skovao izraz "Internet stvari". Unutar nekoliko godina pametni telefoni, računarstvo u oblaku (eng. cloud), napredak u procesorskoj snazi i poboljšani softverski algoritmi stvorili su okvir za prikupljanje, pohranu, obradu i dijeljenje podataka na robusniji način. Istodobno su se pojavili sofisticirani senzori koji su mogli mjeriti kretanje, temperaturu, razinu vlage, smjer vjetrova, zvuk, svjetlo, vibracije i brojne druge uvjete - zajedno s mogućnošću preciznog određivanja osobe ili uređaja pomoću geolokacije. Ovaj razvoj omogućio je mogućnost komunikacije s digitalnim uređajima i fizičkim objektima u stvarnom vremenu. Na primjer, dodavanjem čipa za praćenje objektu kao što je novčanik ili kovčeg, moguće je vidjeti njegovu lokaciju. Isti čip ugrađen u digitalni uređaj može pratiti gdje se nalazi u slučaju gubitka ili krađe. Zatim, sa širokim usvajanjem mobilnih uređaja kao što su pametni telefoni i tableti i uvođenjem sveprisutnog bežičnog povezivanja, bilo je moguće povezati ljude i stvari na gotovo sveprisutan način. Kao rezultat toga, pametne prometne mreže, povezani spremnici za skladištenje i industrijski robotski sustavi postali su norma [3].

Na slici 2. predstavljena je rasprostranjenost ARPANET-a u Sjedinjenim Američkim Državama u razdoblju rujna 1974. godine.



Slika 2. Rasprostranjenost ARPANET-a u rujnu 1974. godine [3]

## 2.2. Arhitektura Interneta stvari

Internet stvari nema striktno definiranu mrežnu arhitekturu koja se univerzalno koristi već se mrežna arhitektura modificira shodno primjeni i potrebama. Većina mrežnih arhitektura Interneta stvari sadrži 3 do 7 slojeva i svaki ima određenu funkciju. U daljnjem tekstu će biti opisano 7 slojeva mrežne arhitekture, a to su:

- 1) Percepcijski sloj
- 2) Transportni sloj
- 3) Rubni sloj
- 4) Procesni sloj
- 5) Aplikacijski sloj
- 6) Poslovni sloj

## 7) Sigurnosni sloj

Percepcijski sloj je fizički sloj koji se sastoji od senzora, aktuatora i drugih uređaja koji se koriste u svrhu prikupljanja i obrade podataka iz okruženja kao što su temperatura, vlažnost tla, svjetlost i drugi. Uređaji koji pripadaju ovom sloju prikupljaju fizikalne podatke iz okoline i pretvaraju ih u električni signal proporcionalno mjernom opsegu. Zatim se taj analogni električni signal uzorkuje, kvantizira i kodira u procesu analogno digitalne pretvorbe, te od analognog električnog signala nastaje digitalni signal koji je jednostavniji za transport i daljnju obradu.

Na slici 3 predstavljen je infracrveni temperaturni senzor.



Slika 3. Temperaturni senzor [4]

Transportni sloj predstavlja sučelje između percepcijskog sloja i procesnog sloja, odnosno pomoću raznih mrežnih komunikacijskih protokola kao što su: Wi-fi, ZigBee, LTE, NR 5G i drugi, se prenose podaci prikupljeni pomoću senzora do centra za prijem i obradu podataka. Kod ovog sloja je iznimno važna sigurnost, te je potrebno osigurati integritet podataka. Potrebno je u tu svrhu osigurati način sigurnog pristupa mreži koji zahtijeva autentifikaciju i autorizaciju. Kod izbora mrežnog komunikacijskog protokola treba uzeti u obzir određene faktore, kao što su: količina i vrsta podataka koji se šalju, snaga potrebna sa uspješno slanje, brzina potrebna za slanje i pouzdanost mrežne konekcije i njena sigurnost. Uzevši u obzir navedene faktore, odabire se mreža koja je najpogodnija za određenu primjenu.

Rubni sloj predstavlja važnu ulogu u upravljanju protoka podataka kod Interneta stvari. Primarna uloga rubnog sloja je procesiranje i analiza podataka koji se šalju od strane senzora u percepcijskom sloju kako bi se poboljšale cjelokupne performanse sustava.

Uređaji korišteni u rubnom sloju kao što su pristupnici (eng. gateways) , ruteri, industrijski kontroleri i drugi, vrše određene radnje nad podacima kao što su filtriranje i predprocesiranje podataka, gdje se izuzimaju irelevantni i redundantni podaci te se podaci po potrebi konvertiraju u format pogodniji za analizu. Također se vrši i analiza podataka u stvarnom vremenu kako bi se detektirale moguće anomalije.

Navedene radnje nad podacima rezultiraju smanjivanjem vremena kašnjenja (latencije), većom spektralnom efikasnošću, boljom sigurnošću podataka i smanjivanjem troškova zbog mogućnosti reduciranja veličine podataka što rezultira smanjivanjem potrebe za cloud resurse velikih kapaciteta.

Na slici 4 predstavljen je *gateway*, uređaj korišten u rubnom sloju Interneta stvari.



Slika 4. Pristupnik (eng. gateway) [5]

Procesni sloj je zadužen za transformaciju i analizu podatka, kao i za njihovo skladištenje [6]. Predstavlja važnu ulogu u procesiranju podatka primljenih s rubnog sloja koji se šalju na aplikacijski sloj.

IoT podatkovne platforme i okviri za analizu podataka prikupljaju, skladište, integriraju i usmjeravaju podatke te ih stavljaju u kontekst vremena, lokacije i drugih značajki uređaja.

Aplikacijski sloj se sastoji od aplikacija i servisa namijenjenih za uporabu krajnjim korisnicima kao što su aplikacije za pametne kuće i pametne gradove. Neke od bitnih funkcija i značajki aplikacijskog sloja su: interakcija s korisnicima, vizualizacija podataka, personalizacija, tj. podešavanje određenih funkcija po željama korisnika, automatizacija procesa i sigurnosti i zaštita podataka.

Na slici 5 prikazano je korisničko sučelje aplikacije za pametnu kuću koja je dio aplikacijskog sloja Interneta stvari.



Slika 5. Aplikacija za pametnu kuću [7]

Poslovni sloj upravlja cijelim IoT sustavom, uključujući aplikacije, poslovne i profitne modele te privatnost korisnika [6].

Primjeri upotrebe poslovnog sloja u praksi su:

- Tvornica koja koristi Internet stvari za optimizaciju proizvodnih procesa
- U agrarnom sektoru, gdje se poljoprivrednicima pruža uvid u parametre u stvarnom vremenu, kako bi se poboljšala efikasnost
- U zdravstvu, koristeći Internet stvari omogućeno je udaljeno praćenje stanja pacijenata i vršenje određenih radnji udaljenim putem

Sigurnost je jedna od najvažnijih značajki cjelokupnog sustava Interneta stvari, stoga je u mrežnoj arhitekturi prisutan sigurnosni sloj kako bi se spriječile potencijalne prijetnje, napadi i neautoriziran pristup.

Neke od značajki sigurnosnog sloja su:

- Autentifikacija i autorizacija – sigurnosni sloj osigurava da samo ovlašteni korisnici mogu pristupiti i upravljati resursima Interneta stvari, što se postiže mehanizmima provjere autentičnosti.
- Šifriranje podataka – pomoću protokola kao što su TLS/SSL (eng. Transport Layer Security/Secure Sockets Layer) i DTLS (eng. Datagram Transport Layer Security) se podaci šifriraju kako bi se spriječio neovlašteni pristup podacima.
- Segmentacija mreže – odvajaju se različiti dijelovi IoT mreže
- PKI sustav – Javni ključ se koristi za upravljanje digitalnim certifikatima za provjeru autentičnosti uređaja, šifriranje i sigurnu komunikaciju.
- Fizička sigurnost – u nekim slučajevima se uređaji fizički zaštićuju od neovlaštenog pristupa na način da se integriraju u zaštićena kućišta.

### 2.3. Bežične tehnologije u Internetu stvari

Kao što postoje mnoge primjene Interneta stvari, tako i postoje razne tehnologije koje omogućuju komunikaciju i pristup podacima i uređajima u Internetu stvari. Odabir optimalne tehnologije ovisi o primjeni i zadaći koju bi uređaju trebali vršiti. U uvodu rada je navedeno da se bežične tehnologije dijele na one kratkog, srednjeg i dalekog dometa.

Tehnologije koje će biti opisane su: Bluetooth, Wi – fi, ZigBee i LoRaWAN. Detaljniji opis i analiza NR (5G) tehnologije kao i usporedba s LTE (4G) tehnologijom bit će obrađen u zasebnom poglavlju.

Bluetooth je bežični komunikacijski standard koji se koristi za razmjenu podataka između fiksnih i mobilnih uređaja na malim udaljenostima. Izvorno, Gaussova modulacija s pomakom frekvencije (GFSK) bila je jedina dostupna shema modulacije. Od uvođenja Bluetooth 2.0+EDR,  $\pi/4$ -DQPSK i 8-DPSK modulacije se također mogu koristiti između kompatibilnih uređaja. Uređaji koji rade s GFSK-om rade u načinu rada osnovne brzine (BR) gdje je moguća trenutna brzina prijenosa od 1 Mbit/s. Izraz Enhanced Data Rate (EDR) opisuje  $\pi/4$ -DPSK i 8-DPSK sheme, od kojih svaka daje 2 odnosno 3 Mbit/s.

Bluetooth radi na frekvencijama između 2,402 i 2,480 GHz, ili 2,400 i 2,4835 GHz uključujući zaštitne pojaseve širine 2 MHz na donjem kraju i 3,5 MHz na vrhu. Bluetooth koristi radio tehnologiju koja se zove frekvencijsko skakanje proširenog spektra. Bluetooth dijeli prenesene podatke u pakete i svaki paket šalje na jednom od 79 određenih Bluetooth kanala. Svaki kanal ima širinu pojasa od 1 MHz. Obično izvodi 1600 skokova u sekundi, s omogućenim adaptivnim frekvencijskim skokom (AFH). Bluetooth Low Energy koristi razmak od 2 MHz, što omogućuje 40 kanala [8].

Primjer upotrebe Bluetooth tehnologije je uparivanje bežičnih slušalica s mobilnim uređajem pomoću navedene tehnologije kao i uparivanje audio sustava u automobilu s mobilnim uređajem.

Wi-Fi je bežični mrežni protokol, temeljen na standardu IEEE 802.11 [8].

Obično se koristi za lokalno umrežavanje uređaja i pristup internetu. Uređaji koji mogu koristiti Wi-Fi tehnologije uključuju stolna i prijenosna osobna računala, pametne telefone i tablete, pametne televizore, pisaae, pametne zvučnike, automobile i bespilotne letjelice.

Valno područje u kojem se nalazi Wi-Fi karakterizira visok nivo apsorpcije, što znači da razne prepreke kao što su zidovi, kućanski uređaji ili bilo koji drugi fizički objekt koji je u stanju apsorbirati elektromagnetske valove uvelike smanjuju domet. Međutim, visoka razina apsorpcije utječe na smanjenu interferenciju s drugim mrežama.

Pristupna točka (ili žarišna točka) često ima domet od oko 20 metara (66 stopa) u zatvorenom prostoru. Na maloj udaljenosti, neke verzije Wi-Fi-ja, koje rade na odgovarajućem hardveru, mogu postići brzine preko 1 Gbit/s [8].

Standard 802.11 pruža nekoliko različitih radiofrekvencijskih raspona za korištenje u Wi-Fi komunikaciji: 900 MHz, 2,4 GHz, 5 GHz, 5,9 GHz i 60 GHz pojasevi. Svaki raspon je podijeljen na mnoštvo kanala. Države primjenjuju vlastite propise o dopuštenim kanalima, dopuštenim korisnicima i maksimalnim razinama snage unutar ovih frekvencijskih raspona [8].

Na slici 6 prikazan je uređaj koji omogućuje pristup Wi-Fi mreži.





Slika 6. Wi-Fi router [9]

Zigbee je standard temeljen na IEEE 802.15.4 za skup komunikacijskih protokola visoke razine. Koristi se za stvaranje PAN-ova (eng. Personal Access Network) s malim digitalnim radijima male snage. Njegova upotreba uključuje male projekte koji zahtijevaju bežičnu vezu. Zigbee je bežična mreža male snage i male brzine prijenosa podataka

Ovaj standard specificira rad u nelicenciranim ISM pojasevima od 2,4 do 2,4835 GHz (širok svijeta), 902 do 928 MHz (Amerika i Australija) i 868 do 868,6 MHz (Europa). Šesnaest kanala raspoređeno je u pojasu od 2,4 GHz, razmaknutih 5 MHz, iako svaki koristi samo 2MHz širine pojasa. BPSK se koristi u pojasima 868 i 915 MHz, a OQPSK koji odašilje dva bita po simbolu koristi se u pojasu 2,4 GHz [8].

Neobrađena brzina prijenosa podataka preko zraka iznosi 250 kbit/s po kanalu u pojasu od 2,4 GHz, 40 kbit/s po kanalu u pojasu od 915 MHz i 20 kbit/s u pojasu od 868 MHz. Za unutarnje primjene na 2,4 GHz udaljenost prijenosa je 10–20 m. Ovaj raspon ovisi o građevinskim materijalima, broju zidova na putu i snazi. Izlazna snaga radija općenito je 0–20 dBm (1–100 mW) [8].

LoRa je fizička radio komunikacijska tehnika. Temelji se na tehnikama modulacije proširenog spektra izvedenim iz tehnologije chirp proširenog spektra (CSS). Razvio ga je Cycleo (patent 9647718-B2), tvrtka iz Grenoblea, Francuska, koju je kasnije kupio Semtech [10].

LoRaWAN definira komunikacijski protokol i arhitekturu sustava. LoRaWAN je službeni standard ITU-T Y.4480 Međunarodne unije za telekomunikacije (ITU). Kontinuiranim razvojem LoRaWAN protokola upravlja otvorena, neprofitna LoRa alijansa, čiji je SemTech jedan od osnivača [10].

Zajedno, LoRa i LoRaWAN definiraju mrežni protokol male snage, širokog područja (LPWA) dizajniran za bežično povezivanje uređaja na internet u regionalnim, nacionalnim ili globalnim mrežama, ciljajući na ključne zahtjeve Interneta stvari (IoT) kao što su dvosmjerna komunikacija, end-to-end sigurnost, mobilnost i usluge lokalizacije. Niska snaga, niska brzina prijenosa i korištenje IoT-a razlikuju ovu vrstu mreže od bežičnog WAN-a koji je dizajniran za povezivanje korisnika ili tvrtki i prijenos više podataka, koristeći više energije. LoRaWAN brzina prijenosa podataka kreće se od 0,3 kbit/s do 50 kbit/s po kanalu [10].

## **2.4. Primjena Interneta stvari**

Internet stvari omogućuje komunikaciju među uređajima raznih primjena kao što su uređaji korišteni u proizvodnoj industriji, zdravstvu i poljoprivredi. Povezani uređaji razmjenjuju podatke bez potrebe za interakcijom čovjeka i računala te zbog toga ga mnoge organizacije i kompanije sve više koriste kako bi olakšali i unaprijedili svoje poslovanje, poboljšali produktivnost i povećali profit. Također, broj povezanih mobilnih IoT uređaja neprestano raste i procjenjuje se trenutno na broj od 3,5 milijardi uređaja [11].

### **2.4.1. Primjena Interneta stvari u proizvodnoj industriji**

S procesom globalizacije svjetskog gospodarstva, proizvodna poduzeća se susreću sa sve brojnijom i izazovnijom konkurencijom od strane njihovih kolega širom svijeta u kontekstu cijene proizvoda, kvalitete proizvoda, vremena isporuke, itd. Proizvođači se također nalaze pred izazovom ispunjavanja ekoloških zahtjeva u proizvodnji, kao i sa sve zahtjevnijim i raznolikijim potrebama krajnjih kupaca [12].

Iz navedenog se može zaključiti kako proizvodna industrija treba posegnuti za korištenjem najnovijih tehnoloških inovacija kako bi ostali konkurentni na tržištu te kako bi zadržali kvalitetu svojih proizvoda i usluga i održali financijsku stabilnost poduzeća.

Internet stvari ima potencijal u transformaciji i daljnjem razvoju proizvodne industrije [12], pa će u daljnjem tekstu biti opisane neke tehnologije Interneta stvari korištene u industrijskoj proizvodnji, kao i neke od stvarnih primjena Interneta stvari u industriji.

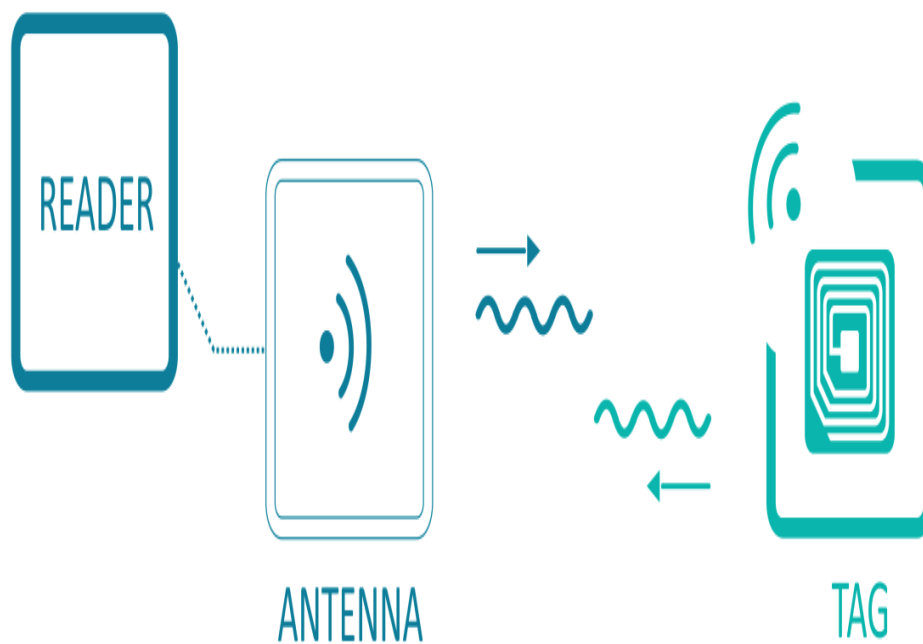
Neke od tehnologija koje se koriste u Internetu stvari i mogu donijeti značajne benefite pri korištenju u proizvodnoj industriji su: RFID (Radio Frequency Identification), bežične senzorske mreže i računarstvo u oblaku (eng. cloud computing) [12].

RFID je tehnologija koja koristi radio frekvencije za prijenos informacija između uređaja i host računala. Frekvencija koja se najčešće koristi kod RFID tehnologije je 13,56 MHz, s rasponom daljine mogućnosti očitavanja od 10 cm do 1 m [13].

RFID sustav se sastoji od radio transpondera, uređaja koji nakon primanja signala šalje kao odgovor drugi signal, radio odašiljača i radio prijemnika [14].

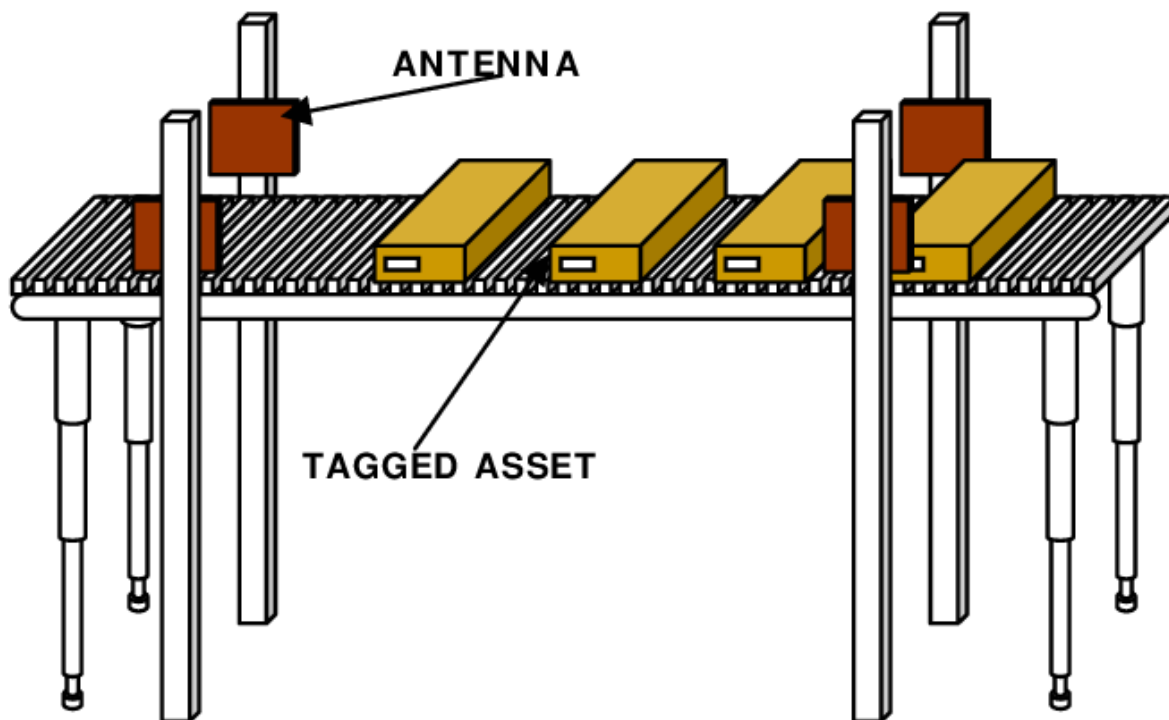
U kontekstu primjene RFID sustava, njegova funkcionalnost se može podijeliti na dvije značajke sustava, RFID tagove i RFID čitače. RFID tagovi se sastoje od zavojnice, mikročipa i po potrebi od izvora napajanja ako je riječ o aktivnom tagu. RFID tagovi sadrže informacije o objektu na kojem se nalaze, a RFID čitači imaju sposobnost očitavanja podataka pohranjenih na RFID tagu. Na taj način se u proizvodnoj industriji može nadgledati status, lokacija i ostale općenite informacije o nekom objektu ili proizvodu koji ima ugrađen RFID tag. Komunikacija između tagova i čitača omogućena je uz pomoć ugrađenih antena koje imaju sposobnost odašiljanja i primanja signala.

Na slici 7 prikazana je blok shema principa rada RFID sustava.



Slika 7. Blok shema rada RFID sustava [15]

Na slici 8 prikazana je ilustracija primjene RFID tehnologije u proizvodnoj industriji na način da se primjenom navedene tehnologije očitavaju podaci s proizvoda na pokretnoj traci u svrhu prikupljanja potrebnih podataka.



Slika 8. Ilustracija primjene RFID tehnologije u proizvodnoj industriji [16]

Bežične senzorske mreže su sastavljene od više međusobno povezanih čvorova koji imaju sposobnost mjerenja i dohvaćanja podataka iz okoline, obrade podataka i komunikacije s ostalim čvorovima [12].

U proizvodnoj industriji bežične senzorske mreže imaju svrhu prikupljanja podataka koje nije moguće prikupiti koristeći jedan čvor, već je potrebno više čvorova sa sposobnošću međusobne komunikacije.

Računarstvo u oblaku omogućuje učinkovito upravljanje velikim brojem računalnih resursa zbog sposobnosti pohrane velikog broja podataka [12].

#### **2.4.2. Primjena Interneta stvari u zdravstvu**

Internet stvari u kontekstu zdravstva ima primjenu na način da uređaji prikupljaju podatke od strane pacijenata koji su potom vidljivi medicinskim stručnjacima, također medicinski stručnjaci su u mogućnosti poduzimati određene radnje udaljenim putem. Nadalje, primjena Interneta stvari u zdravstvu se očituje i u algoritmima baziranim na strojnom učenju koji

omogućuju uređajima da samostalno analiziraju podatke i vrše potrebne radnje shodno analiziranim podacima [17].

Neki od konkretnih primjera upotrebe interneta stvari u zdravstvu su:

- 1) Praćenje srčanog ritma – uređaji postavljeni na pacijenta koji medicinskim stručnjacima šalju podatke o srčanom ritmu [18].
- 2) Praćenje razine glukoze u krvi – uređaji ugrađeni kod pacijenta šalju podatke o razini glukoze u krvi liječnicima [18].
- 3) IoT povezani inhalatori – kod stanja kao što je astma, česti su napadaji. IoT povezani inhalatori mogu pratiti učestalost napada te stanje okoline kako bi pomogli medicinskim stručnjacima u dijagnozi i pravilnom liječenju [18].
- 4) Operacije izvođene udaljenim putem – kirurzi su u mogućnosti udaljenim putem vršiti operacije koje bi bilo teško vršiti na licu mjesta zbog kompleksnosti, npr. potrebno je pristupiti dijelu tijela koji je inače teško dostupan, ali je pomoću sitnih IoT uređaja omogućen pristup te se također mogu slati potrebni podaci [18].

Na slici 9 prikazan je proces operacije izvođene udaljenim putem pomoću robota u kojoj se podaci od strane robota šalju medicinskim stručnjacima.



Slika 9. Operacija izvođena udaljenim putem [19]

### 2.4.3. Primjena Interneta stvari u poljoprivredi

Internet stvari ima mogućnost uvelike optimizirati i poboljšati kvalitetu poljoprivredne proizvodnje na način da pravovremenim opažanjem, prikupljanjem podataka i slanjem potrebnim podataka spriječi nepoželjne pojave i pruži proizvođaču uvid u realno stanje.

Neke od primjena interneta stvari u poljoprivredi su:

- 1) Mjerenje vlažnosti tla
- 2) Mjerenje temperature tla
- 3) Praćenje stanja usjeva u realnom vremenu
- 4) Praćenje stanja domaćih životinja u realnom vremenu
- 5) Praćenje podataka o vremenskim prilikama i prognoza vremenskih prilika
- 6) Analiziranje prikupljenih podataka

Na slici 10 prikazan je kapacitivni senzor vlage tla koji na osnovu prikupljene vlage na dielektrični materijal mijenja svoj kapacitet te se na taj način može izmjeriti relativna vlažnost tla.



Slika 10. Kapacitivni senzor vlažnosti tla [20]

### **3. 5G mreža**

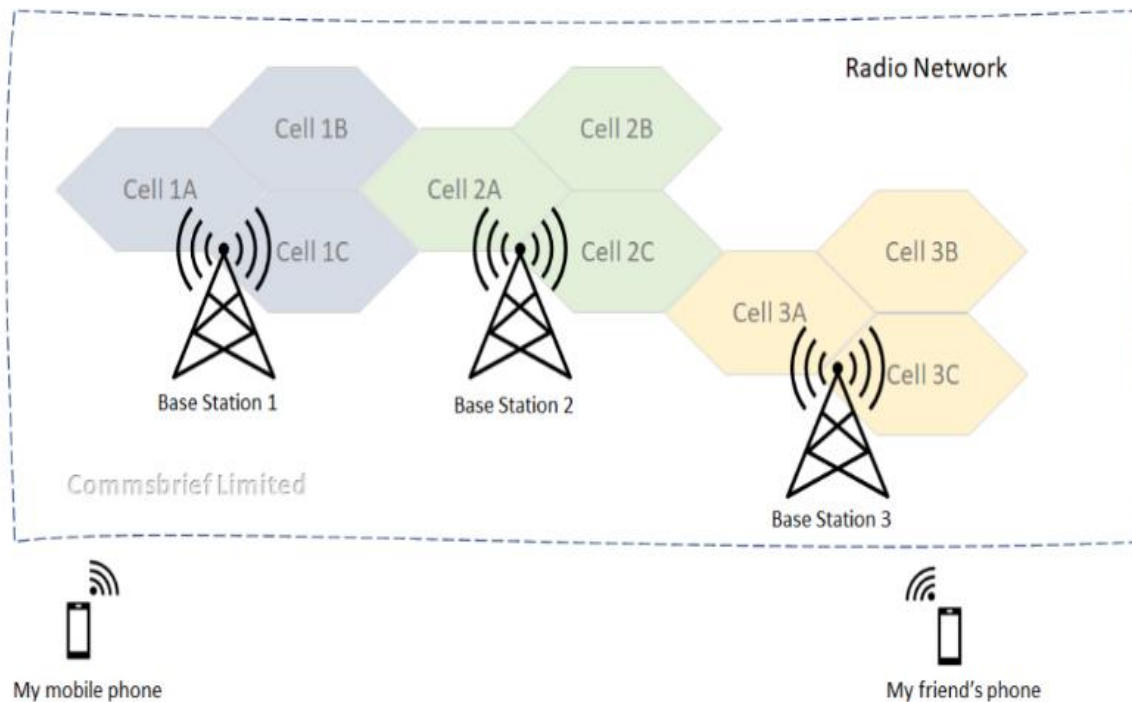
U telekomunikacijama, 5G predstavlja petu generaciju bežičnih mobilnih mreža baziranu na radio pristupnoj tehnologiji naziva 5G NR (eng. New Radio), koja je razvijena od strane skupa organizacija naziva 3GPP. [21] U ovom poglavlju bit će opisani zahtjevi 5G mreže, karakteristike, arhitektura mreže te princip rada. Također će biti opisan povijesni razvoj mobilnih mreža.

#### **3.1. Povijesni razvoj mobilnih mreža**

Značajniji razvoj mobilnih mreža veže se za sedamdesete i osamdesete godine 20. stoljeća, početkom korištenja ćelijskog planiranja i projektiranja mobilnih mreža [22]. Ćelija predstavlja područje koje bazna stanica pokriva određenom razinom signala koja je dovoljna za postizanje zadanih performansi mreže, tj. za optimalan rad mreže. Bazna stanica je naziv za područje na kojem je postavljena telekomunikacijska oprema kao što su antene, RRU (Remote Radio Unit), BBU (Baseband Unit) i drugi uređaji potrebni za uspostavu konekcije s ostalim uređajima u mreži. Bazna stanica „opslužuje“ ćeliju i služi kao posrednik u komunikaciji između dva mobilna uređaja.

Na slici 11 predstavljena je ilustracija koja pokazuje koncept ćelijskih mobilnih mreža u kojima mobilni uređaji komuniciraju posredstvom bazne stanice. Ćelije se konceptualno prikazuju u obliku šesterokuta koji predstavlja područje koje jedna ćelija obuhvaća, iako u praksi područje koje ćelija obuhvaća zauzima nepravilan oblik koji ovisi o raznim faktorima kao što su prirodne barijere, potrebe pokrivenosti područja signalom i mnogi drugi faktori.





Slika 11. Ilustracija ćelijske mobilne mreže [23]

Povijesni razvoj mobilnih mreža započinje s razvojem prve generacije javne mobilne mreže (1G). Prvi put je puštena u upotrebu od strane tvrtke „Nippon Telegraph and Telephone“ za korištenje građanima Tokyja 1979. godine.[24] Mreža je koristila analognu transmisiju, karakterizirala ju je loša kvaliteta glasovnih poziva, podložnosti smetnjama, nepostojanje enkripcije te nepostojanje jedinstvenog standarda koji bi definirao mrežu, već su se diljem svijeta definirali različiti standardi i mreže iz različitih država većinom nisu bile kompatibilne.

Razvoj druge generacije javne mobilne mreže (2G) karakterizira uvođenje digitalne transmisije što rezultira boljom kvalitetom glasovnih poziva i povećanim kapacitetom mreže. Također je uvedena enkripcija i mogućnost slanja podataka između mobilnih uređaja, što nije bio slučaj za prvu generaciju gdje su bili mogući samo glasovni pozivi. Tehnologija upotrebljavana u 2G mobilnim mrežama je GSM (eng. Global System for Mobile Communications), a razvijena je u Finskoj 1991. godine [24].

Mobilna javna mreža treće generacije prvi put je predstavljena u Japanu 2001. godine [24]. Označava revoluciju u brzini prijenosa podataka (do 2 Mbps) i kvaliteti prijenosa podataka

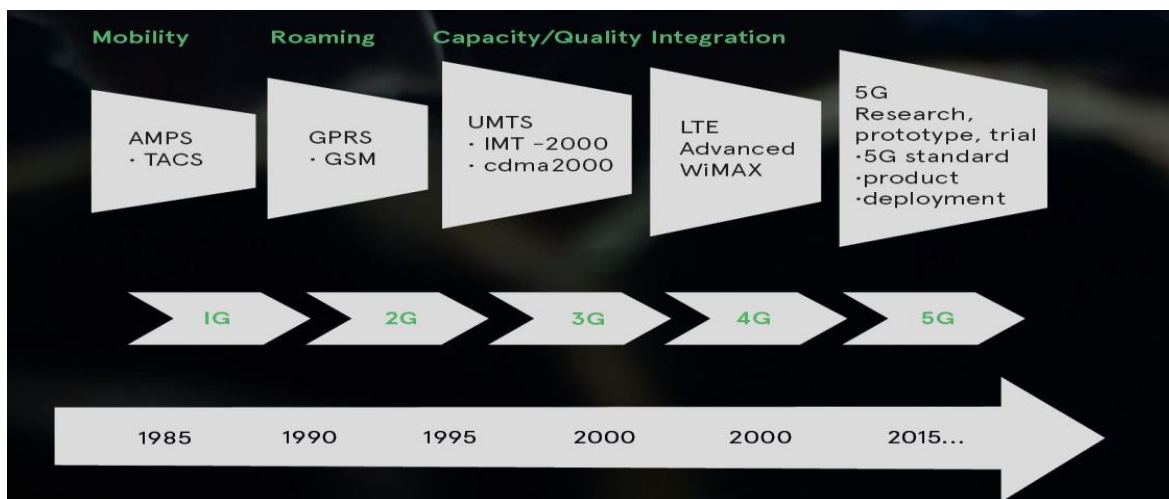
i uvodi u sve širu upotrebu mobilnih uređaja za pristup internetu. Mreža 3G realizirana je pomoću tehnologije širokopojasnog višestrukog pristupa po kodu WCDMA

(engl. Wideband Code Division Multiple Access) pa se stoga često i taj naziv koristi za označavanje 3G mreža [22].

Krajem 2009. godine je u Norveškoj predstavljena četvrta generacija mobilnih mreža (4G) za komercijalnu upotrebu.[24] Koristi se LTE (eng. Long Term Evolution) tehnologija. U odnosu na prijašnje tehnologije (2G i 3G), ne koriste se kontroleri, brzina podataka prijenosa je višestruko veća (do 100 Mbps), smanjena je latencija i poboljšane su općenite performanse mreže. Jednostavnijoj arhitekturi mreže u odnosu na prijašnje generacije pogoduje to što je 4G u potpunosti IP mreža, točnije ne odvaja se podatkovni i glasovni promet već se vrši isključivo komutacija paketa. Glasovnu uslugu se korisnicima pruža na način da se prebacuje na 2G ili 3G mrežu u ovisnosti koja je dostupna na području u kojem se korisnik nalazi ili pomoću tehnologije VoLTE (eng. Voice over LTE), gdje se glas prenosi paketskim prijenosom.

U ožujku 2019. godine je u Južnoj Koreji prvi put predstavljena mobilna mreža pete generacije (5G).[24] Karakterizira ju izrazito velika brzina prijenosa podataka i jako niska latencija, tj. kašnjenje signala. Najznačajnija upotreba pete generacije mobilne mreže nije u komunikaciji između mobilnih uređaja posredstvom ljudi, već u komunikaciji između uređaja bez posredstva čovjeka (Internet stvari). Karakteristike 5G mreže, mrežna arhitektura i usporedba s 4G mrežom bit će opisane u daljnjem tekstu.

Na slici 12 prikazan je razvoj mobilnih mreža kroz godine uz naznačene pripadajuće tehnologije.



Slika 12. Razvoj mobilnih mreža [25]

### 3.2. Zahtjevi i karakteristike 5G mreže

5G mreža kao mreža nove generacije dizajnirana za postizanje vrhunskih performansi mora udovoljiti određenim zahtjevima. Primarni razlog za postojanje vrhunskih performansi je primjena 5G mreže u Internetu stvari, potrebno je zadovoljiti određene standarde kvalitete usluge kako bi komunikacija među uređajima funkcionirala na optimalan način.

U ovom potpoglavlju bit će opisane zahtjevi za određene parametre 5G mreže i njihove karakteristike. Najznačajniji zahtjevi za 5G mrežu su:

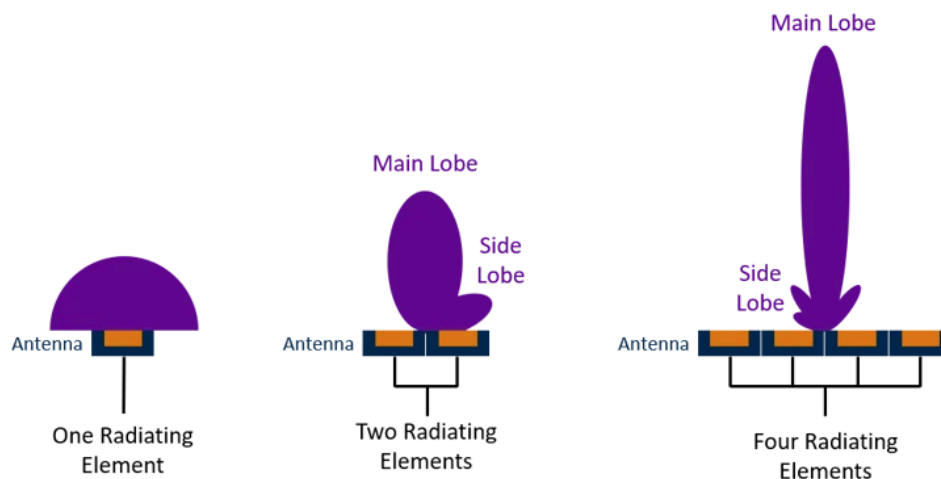
- 1) Više brzine prijenosa podataka
- 2) Niska latencija
- 3) Veći broj povezanih uređaja
- 4) Energetska učinkovitost
- 5) Mobilnost
- 6) Široka pokrivenost

5G mreža podržava i do 10 puta veće brzine prijenosa u odnosu na prethodnu generaciju mobilnih mreža (4G), točnije podržava brzine i do 10 Gbps, iako je teoretski maksimalna brzina čak i veća, dok 4G podržava maksimalnu brzinu u rasponu od 100 Mbps do 300 Mbps [26]. Veće brzine prijenosa omogućuju korisnicima u mreži i povezanim uređajima u mreži brže slanje i primanje podataka čime se poboljšava kvaliteta usluge u slučaju da se radi o

korisnicima mobilnih usluga te se poboljšava efikasnost u slučaju da se radi primjerice o povezanim uređajima u industrijskoj proizvodnji. Da bi se postigle veće brzine prijenosa podataka, koriste se određene tehnike i određena poboljšanja postojećih aspekata mreže kao što su: veća širina prijenosnog pojasa, učinkovitije metode modulacije i kodiranja, korištenje MIMO (eng. Multiple-Input Multiple-Output) tehnologije, usmjeravanje radio signala prema krajnjem korisniku, tzv. oblikovanje snopa (eng. beamforming).

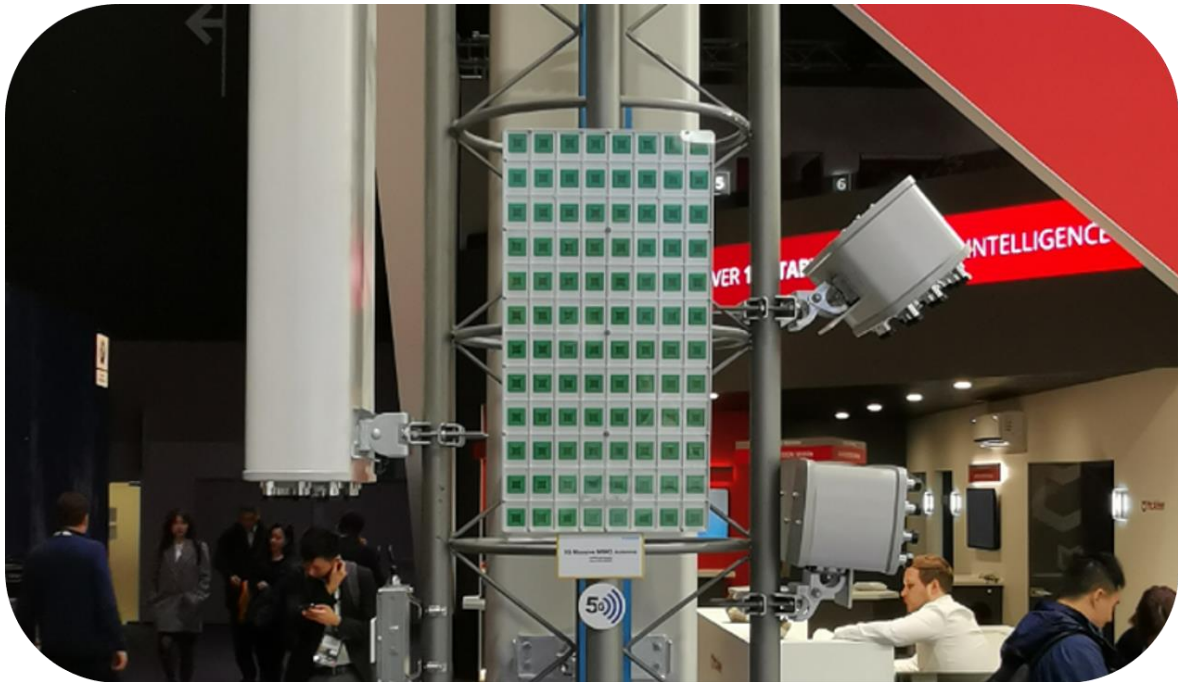
Oblikovanje snopa je primjena višestrukih elemenata zračenja koji odašilju isti signal na identičnoj valnoj duljini i fazi, koji se kombiniraju kako bi stvorili jednu antenu s dužim, ciljanijim strujanjem koje se formira pojačavanjem valova u određenom smjeru. Što više elemenata koji zrače čine antenu, to je glavni snop više fokusiran, a bočni snopovi slabiji [27].

Na slici 13 prikazana je ilustracija oblikovanja snopa.



Slika 13. Oblikovanje snopa [27]

Na slici 14 predstavljena je 5G Massive MIMO antena.



Slika 14. 5G Massive MIMO antena [28]

Niska latencija, u kontekstu 5G mreža, odnosi se na minimalno kašnjenje ili kašnjenje koje se javlja između slanja podatkovnog paketa s izvora i primanja odgovora na odredištu. Drugim riječima, to je vrijeme potrebno da signal putuje od pošiljatelja do primatelja, uključujući vrijeme potrošeno na obradu signala na oba kraja. Niska latencija ključna je za aplikacije koje zahtijevaju interakcije u stvarnom vremenu, kao što su videokonferencije, autonomna vozila i industrijska automatizacija.

5G mreža omogućuje postizanje latencije čak i do razine od 1 ms [29], a glavni razlog zahtijevanja na niskoj latenciji je korištenje 5G mreže u uparivanju uređaja u Internetu stvari. Iznimno je važno da u međusobnoj komunikaciji uređaja ne dolazi do velikih kašnjenja, npr. u slučaju autonomnih vozila, svaka informacija o potencijalnoj opasnosti na cesti mora doći od pošiljatelja do primatelja uz minimalno vrijeme kašnjenja.

Niska latencija se postiže korištenjem viših frekvencijskih pojaseva jer oni imaju manje valne duljine što rezultira kraćim transmisijskim putevima. Također se postiže unaprjeđivanjem mrežne arhitekture i tehnikama obrade signala kao što je npr. oblikovanje snopa.

5G mreža dizajnirana je da podržava iznimno velik broj povezanih uređaja istovremeno. Ova je sposobnost kritičan zahtjev zbog širenja uređaja Interneta stvari (IoT), koji obuhvaćaju širok raspon objekata i senzora koji mogu komunicirati i dijeliti podatke putem mreže. Tradicionalne mobilne mreže prvenstveno su dizajnirane za povezivanje pametnih telefona i drugih korisničkih uređaja, koji obično generiraju umjeren podatkovni promet. Međutim, pojava IoT-a uvela je raznolik niz uređaja s različitim zahtjevima za podacima, u rasponu od jednostavnih senzora koji prenose male količine podataka do složenijih uređaja koji zahtijevaju komunikaciju i ažuriranja u stvarnom vremenu.

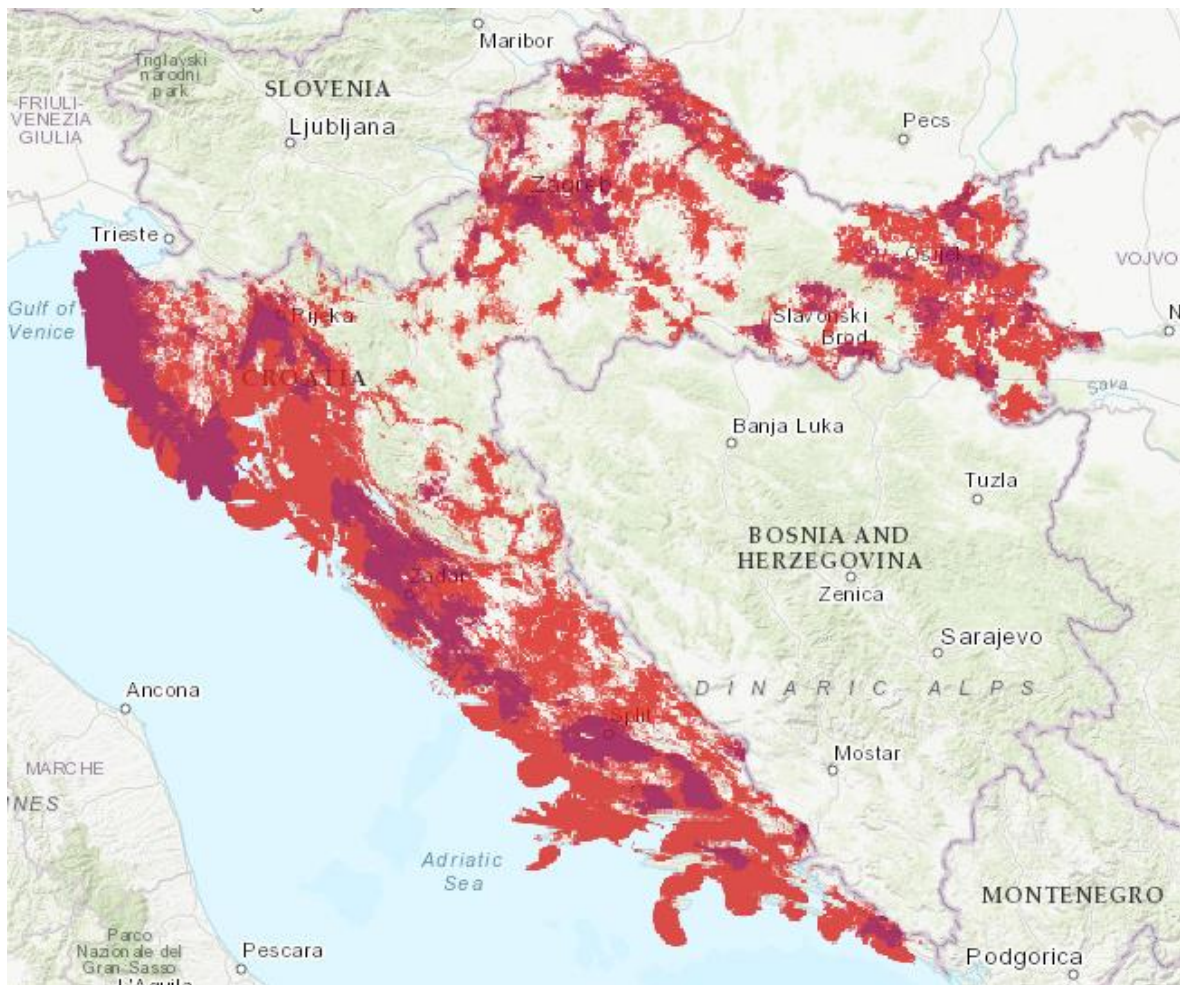
Energetska učinkovitost u kontekstu 5G mreže odnosi se na sposobnost mreže da omogućuje kvalitetnu konekciju koju karakteriziraju visoke performanse mreže uz smanjenje potrošnje energije. Ovo je važna značajka budući da potražnja za podatkovnim uslugama nastavlja rasti, a sve je veći fokus na smanjenju utjecaja tehnološke infrastrukture na okoliš. Industrija informacijske i komunikacijske tehnologije (ICT) trenutno čini približno 4% svjetske potrošnje električne energije. S predviđenim povećanjem kapaciteta 5G mreže do približno 1000 puta i visokofrekventnim prijenosom milimetarskih valova (eng. mmWave) koji će eksponencijalno povećati gustoću ćelija, ovaj bi postotak potencijalno mogao premašiti 20% do 2030. Ipak, na temelju analize količine prenesenih podatkovnih bita po utrošenom kW električne energije 5G mreža je 90 % učinkovitija od 4G mreže [30]. Ušteda potrošnje električne energije se postiže tehnikama planiranja i razvoja mreža na način da iste rade optimalno. Bazne stanice se raspoređuju na način da pokrivaju manja područja, tj. fokus se stavlja izričito na područje kojem je pokrivenost potrebna, bez nepotrebnih utrošaka energije na područje koje ne zahtjeva pokrivenost. Također se koristi i oprema veće energetske učinkovitosti, koja primjerice u periodima kada nema potrebe za isporukom mrežnih usluga ulaze u stanje manje potrošnje energije koje je prethodno konfigurirano.

Još jedna od zahtjeva za 5G mrežu je visoka razina mobilnosti. Visoka mobilnost predstavlja sposobnost mreže da omogućí uređajima u pokretu uspješno prebacivanje iz jednog područja pokrivanja u drugo područje pokrivanja, tj. uspješno izručenje s područja koje pokriva jedna bazna stanica na područje koje pokriva druga bazna stanica (eng. handover).

5G mreža također zahtjeva široku pokrivenost kako bi se mrežne usluge mogle isporučiti što većem broju korisnika i uređaja. Veća pokrivenost se postiže strateškim planiranjem i razvojem mreža te postavljanjem baznih stanica na strateški važna mjesta. Također je moguće postići bolju pokrivenost u urbanim područjima korištenjem viših frekvencijskih

pojaseva koji imaju veći kapacitet. Moguće je i postaviti mikro ćelije da pokrivaju područja kao što su velike poslovne zgrade, aerodromi, stadioni i slična mjesta s velikom gustoćom spojenih uređaja

Na slici 15 je prikazana karta pokrivenosti 5G mrežom na području Republike Hrvatske od strane operatera A1 Hrvatska. Tamnije nijanse predstavljaju područja bolje pokrivenosti dok svjetlije nijanse predstavljaju područja lošije pokrivenosti. Vidljivo je da su urbana područja bolje pokrivena od ruralnih područja.



Slika 15. Pokrivenost 5G mrežom na području Republike Hrvatske od strane operatera A1 Hrvatska [31]

### 3.3. Arhitektura i princip rada 5G mreže

Mrežna arhitektura 5G mreže osmišljena je kako bi zadovoljila različite zahtjeve moderne komunikacije, uključujući veće brzine prijenosa podataka, nisku latenciju, masivno povezivanje uređaja i podršku za različite slučajeve upotrebe. Sastoji se od nekoliko ključnih komponenti koje rade zajedno kako bi omogućile besprijekornu i učinkovitu povezanost.

Ključne komponente mrežne arhitekture 5G mreže su:

- 1) Radio pristupna mreža (eng. Radio Access Network)
- 2) Jezgrena mreža (eng. Core Network)
- 3) Vanjska podatkovna mreža (eng. Data Network)

Ovo je najjednostavnija podjela 5G mrežne arhitekture, ali će detaljniji opis svake pojedine komponente biti opisan u daljnjem tekstu.

Radio pristupna mreža (RAN) u 5G mreži je komponenta odgovorna za uspostavljanje bežičnih veza između korisničke opreme i jezgrene mreže. Obuhvaća korisničku opremu, različite bazne stanice, antene i radio opremu koja omogućuje komunikaciju putem zračnog sučelja. 5G RAN se sastoji od korisničke opreme, bazne stanice koja se još i naziva gNodeB (gNB) i distribuirane jedinice (DU). Korisnička oprema odnosi se na uređaje spojene na mrežu, kao što su mobilni telefoni ili razni IoT uređaji koji komuniciraju putem 5G mreže. Bazna stanica ili gNodeB opslužuje geografsko područje, tj. ćeliju signalom. gNB se može podijeliti na središnju jedinicu (CU) i DU, koji mogu biti smješteni zajedno ili odvojeni. CU obavlja funkcije kao što su provjera autentičnosti i upravljanje mobilnošću, dok DU obavlja funkcije kao što su obrada podataka i prijenos [32].

5G RAN arhitektura definira kako su RAN komponente povezane i kako međusobno djeluju jedna na drugu te definira interakciju s jezgrenom mrežom. Temelji se na fleksibilnom dizajnu koji može podržati različite vrste implementacije i slučajeve korištenja. 5G RAN arhitektura ima dvije glavne opcije: nesamostalnu (eng. non-standalone) i samostalnu (eng.



standalone). U non-standalone načinu rada, 5G RAN se oslanja na postojeću 4G LTE mrežu za neke od kontrolnih funkcija, kao što su signalizacija i mobilnost. U standalone načinu rada, 5G RAN je potpuno neovisan i povezuje se izravno na 5G jezgrenu mrežu [32].

5G jezgrena mreža (5GC ili 5G Core Network) temeljni je dio 5G arhitekture koji pruža temeljne funkcionalnosti i usluge potrebne za upravljanje i usmjeravanje podatkovnog prometa, uspostavljanje veza i omogućavanje raznih naprednih značajki. Glavni dijelovi 5GC-a su:

Funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću (AMF) - AMF je odgovoran za upravljanje mobilnošću, uspostavljanje sesije i primopredaje veze. Prati lokaciju korisničke opreme (UE) i upravlja registracijom i provjerom autentičnosti korisničke opreme[33].

Funkcija upravljanja sesijom (SMF) - SMF upravlja uspostavljanjem, modificiranjem i prekidom korisničkih sesija. Također upravlja kvalitetom usluge (QoS) kako bi se osigurao optimalan protok podataka[33].

Funkcija korisničke ravnine (UPF) - UPF upravlja usmjeravanjem i prosljeđivanjem podataka za korisnički promet[33].

Funkcija kontrole naplate (PCF) - PCF provodi pravila naplate za korisničke sesije na temelju pravila koje definira operater. Osigurava da korisnici dobiju očekivanu razinu usluge i raspodjelu resursa[33].

Unificirano upravljanje podacima (UDM) - UDM pohranjuje podatke koji se odnose na korisnike, uključujući vjerodajnice za provjeru autentičnosti, informacije o pretplati i profile usluga. Pruža centralizirano spremište za informacije koje se odnose na korisnika[33].

Funkcija poslužitelja za provjeru autentičnosti (AUSF) - AUSF upravlja autentifikacijom korisnika i sigurnosnim funkcijama. Osigurava sigurnu komunikaciju između UE-a i mreže[33].

Funkcija odabira mrežnog odsječka (NSSF) - NSSF je odgovoran za odabir odgovarajućeg mrežnog odsječka na temelju zahtjeva korisnika i aplikacije. Igra ključnu ulogu u omogućavanju rezanja mreže (eng. Network Slicing), gdje je mreža podijeljena u virtualne mreže optimizirane za različite slučajeve upotrebe[33].

Funkcija mrežne izloženosti (NEF) - Funkcija mrežne izloženosti ključna je komponenta koja ovlaštenim aplikacijama i uslugama trećih strana omogućuje interakciju i pristup određenim funkcijama i podacima unutar 5G mreže[33].

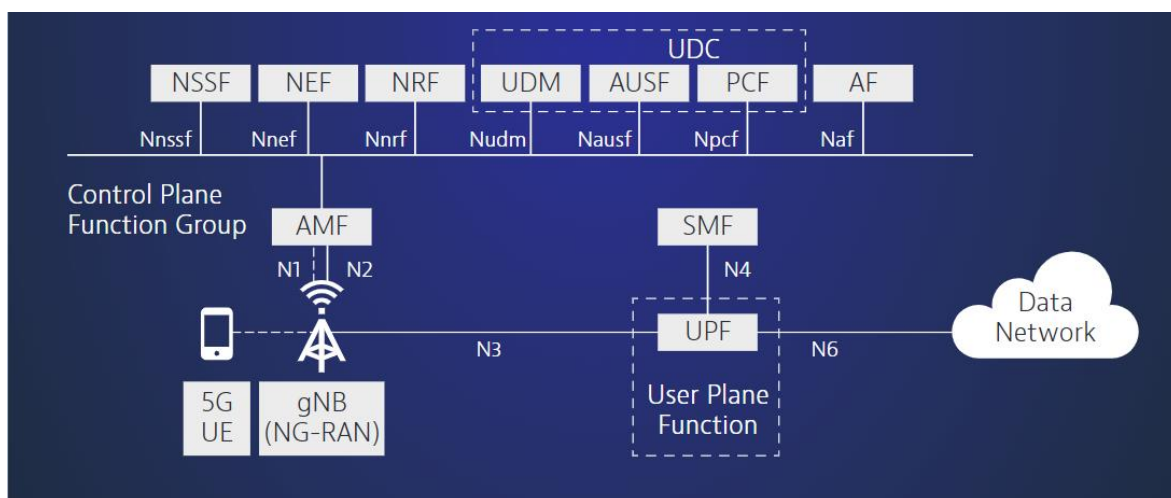
Funkcija mrežnog repozitorija (NRF). NRF je element koji olakšava usmjeravanje u mreži. Ima ključnu ulogu u omogućavanju dinamičke interakcije između mrežnih funkcija i usluga[33].

Aplikacijska funkcija (AF) - AF je komponenta unutar 5G jezgrene mreže koja je odgovorna za pružanje usluga i funkcionalnosti specifičnih za aplikaciju. Djeluje kao sučelje između mreže i određenih aplikacija ili usluga koje zahtijevaju mrežne resurse, podatke ili mogućnosti [33].

5GC omogućuje stvaranje i upravljanje mrežnim odsječcima, od kojih je svaki prilagođen specifičnim slučajevima upotrebe, zahtjevima performansi i uslugama.

Vanjske podatkovne mreže u kontekstu 5G odnose se na mreže izvan jezgrene 5G mreže koje su u interakciji s 5G mrežom ili joj pružaju usluge. Ove vanjske mreže igraju ključnu ulogu u omogućavanju povezivanja, usluga i razmjene podataka između 5G mreže i raznih vanjskih entiteta. Primjeri vanjskih podatkovnih mreža su: Internet, privatne mreže, IoT platforme, infrastrukture za pametne gradove, itd.

Na slici 16 blok dijagramom je predstavljen prikaz 5G mrežne arhitekture.



Slika 16. 5G mrežna arhitektura [33]

5G frekvencijski spektar podijeljen je na tri dijela : pojas niskih frekvencija, pojas srednjih frekvencija i pojas visokih frekvencija. Pojas niskih frekvencija odnosi se na frekvencije u rasponu od 600 MHz do 1 GHz, pojas srednjih frekvencija na one u rasponu od 1 GHz do 6 GHz, a pojas visokih frekvencija na one frekvencije u rasponu od 24 GHz do 39 GHz. Upravo frekvencije u pojasu visokih frekvencija omogućuje vrlo visoke brzine prijenosa podataka i nisku latenciju. Mane ovog frekvencijskog opsega su te što se elektromagnetski valovi pri tolikim frekvencijama mogu odašiljati samo na male udaljenosti te su podložni smetnjama. Također je jedna od mana što 4G ne podržava navedeni frekvencijski opseg te se stoga ne može koristiti postojeća infrastruktura. [34]

Modulacija korištena u 5G mreži je OFDM modulacija (eng. Orthogonal frequency-division multiplexing) [35].

OFDM koristi digitalni prijenos podataka s više nositelja gdje se jedan tok podataka ili binarni tok podataka dijeli na više blisko razmaknutih nositelja ili pod-nositelja umjesto prijenosa podataka na jednom nositelju. Smatra se proširenjem frekvencijskog multipleksiranja (FDM). Prijenosom podataka s više nositelja različitih se poboljšava spektralna efikasnost u usporedbi s prijenosom na jednom nosiocu [36].

## **4. Primjena Interneta stvari u 5G mreži**

Svaka od tehnologija koja se koristi kod Interneta stvari ima svoje značajke koje su relevantne pri odabiru optimalne tehnologije koja će se koristiti za određenu primjenu. Također, svaka tehnologija ima svoje prednosti i nedostatke te je potrebno analitički pristupiti problemu odabira idealne tehnologije.

5G mreža kao tehnologija koja se koristi za prijenos podataka i komunikaciju između uređaja u Internetu stvari ima razne značajke koje mogu unaprijediti način komunikacije u Internetu stvari i ostvariti bolje performanse. Neke od tih značajki su niska latencija, veća brzina prijenosa podataka, mogućnost većeg broja povezanih uređaja i druge.

U ovom poglavlju bit će opisane prednosti 5G mreže kao tehnologije koja se upotrebljava u Internetu stvari kao što su brzina prijenosa, niska latencija, mogućnost spajanja više uređaja na mrežu i rezanje mreže (eng. Network slicing), te će biti analizirani frekvencijski pojasevi korišteni u 5G, a to su pojas niskih frekvencija, pojas srednjih frekvencija i pojas visokih frekvencija te njihova primjena za određene svrhe Interneta stvari. Bit će prikazana kalkulacija i analiza kapaciteta kanala za određene frekvencije karakteristične za svaki od pojaseva. Kalkulacija će biti izvršena primjenom Shannon – Hartley teorema za kapacitet kanala, a u obzir će biti uzet i omjer signal – šum karakterističan za 5G mrežu. Također će biti opisana primjena Interneta stvari kod autonomnih vozila gdje se komunikacija odvija u 5G mreži s naglaskom na nisku latenciju prilikom prijenosa signala. Bit će napravljena i usporedba utjecaja latencije na autonomna vozila u 5G mreži s utjecajem latencije na autonomna vozila u 4G mreži.

### **4.1. Prednosti i utjecaj 5G mreže na Internet stvari**

Internet stvari bilježi porast broja povezanih uređaja te bi se taj broj trebao povećati s 9,7 milijardi koliko ih je bilo u 2020. godini na 29 milijardi do 2030. godine Iako postoji niz čimbenika koji doprinose ovom porastu, jedan od najvažnijih je razvoj 5G mreže [37].

Svojim poboljšanim performansama u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža može uvelike doprinijeti kvaliteti prijenosa podataka.

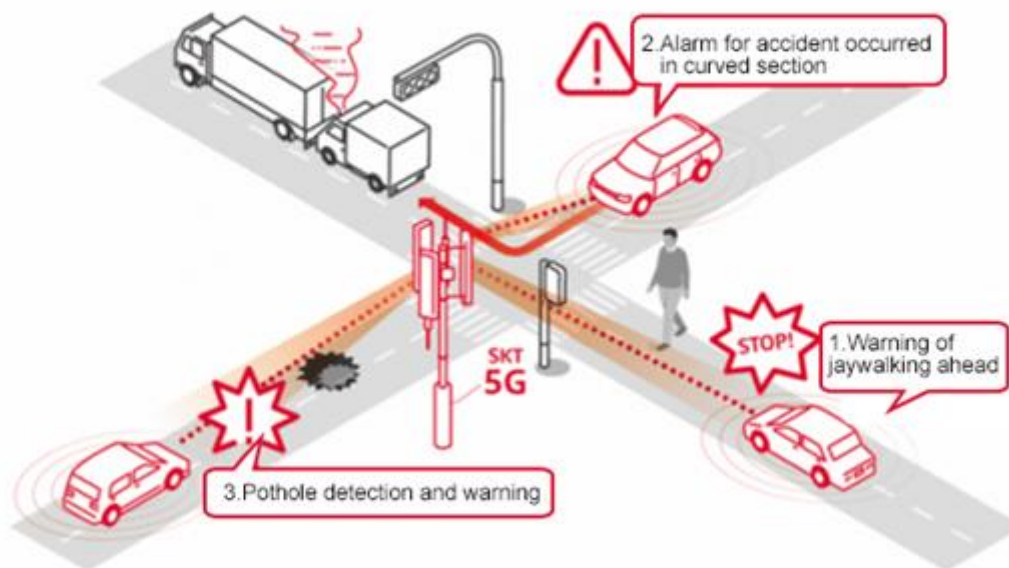
Veće brzine prijenosa razine i do 20 Gbps utječu na Internet stvari na način da omogućavaju brži pristup resursima i podacima bez velikog vremena čekanja, što je iznimno bitno kod postizanja zadovoljstva korisnika usluga.

Niska latencija je najbitnija značajka 5G mreža u kontekstu Interneta stvari. Pruža mogućnosti za uporabu u mnogim slučajevima u kojima je potrebna precizna i pravovremena informacija za izvršavanje određenih zadataka, kao što je na primjer izvođenje medicinske operacije udaljenim putem. Kao proces kod kojeg visoka latencija, tj. kašnjenje u izvođenju naredbi može biti kobno, povezivost putem 5G mreža nameće se kao idealan izbor tehnologije.

Uporabom 5G mreže broj uređaja koji se mogu spojiti na mrežu se jako povećava. Svi povezani uređaji imaju pristup mreži, i oni u stvarnom vremenu mogu međusobno razmjenjivati informacije. Ovaj veći broj povezanih uređaja omogućit će razvoj pametnih gradova i autonomnih automobila. Primjerice, postavljanjem senzora na različite točke i objekte u gradu može se nadzirati veliki dio grada. Ako se razmjenjuju podaci sa senzora postavljenih na automobilima i sa senzora postavljenih u gradu, moguće je poboljšati kvalitetu života u gradovima, olakšati navigaciju autonomnog automobila (odabrati bolje rute, smanjiti broj nesreća, pronaći slobodna parkirna mjesta, itd.) [38].

Na slici 4.1. predstavljena je ilustracija korelacija senzora postavljenih u gradu i onih postavljenih na automobilima koji međusobno komuniciraju putem 5G mreže i pritom poboljšavaju kvalitetu cestovnog prometa.

## 5G-enabled traffic safety service



Slika 17. Utjecaj Interneta stvari na kvalitetu i sigurnost cestovnog prometa [39]

Rezanje mreže (eng. Network slicing) može se definirati kao mrežna konfiguracija koja omogućuje stvaranje više virtualnih i neovisnih mreža na zajedničkoj fizičkoj infrastrukturi. Ova je konfiguracija postala bitna komponenta cjelokupne 5G mrežne arhitekture. Svaki "odsječak" ili dio mreže može se dodijeliti na temelju specifičnih potreba i zahtijeva određene primjene. Prednosti su očigledne, budući da se jedna mreža može podijeliti kako bi pokrila različite slučajeve upotrebe na temelju potražnje i segmentacije korisnika. Operateri zatim mogu dodijeliti resurse svakom odsječku, koristeći potrebnu brzinu, propusnost i latenciju kako bi pokrili širinu mrežnog odsječka u 5G. Unatoč golemim prednostima, još uvijek postoje mnogi izazovi za operatere i programere. Puno E2E (eng. end to end) rezanje mreže zahtijeva implementaciju u radijskoj pristupnoj mreži (RAN), a radijske pristupne mreže moraju biti redizajnirane kako bi se prilagodile novim značajkama. S obzirom na navedeno, dodavanje značajke rezanja mreže stavlja dodatno opterećenje na mobilne operatere [40].

## 4.2. Analiza frekvencijskih pojaseva korištenih u 5G mreži

Kao što je već prije spomenuto u radu, frekvencijski pojasevi kod 5G mreže dijele se na tri vrste pojaseva: pojas niskih frekvencija (600 MHz-1 GHz), pojas srednjih frekvencija (1 GHz-6GHz) i pojas visokih frekvencija (24 GHz-39 GHz). U nastavku rada bit će analizirana i opisana primjena za tri frekvencijska pojasa koja su u upotrebi, a to su n28, n78 i n257. U tablici 1 prikazani su frekvencijski pojasevi korišteni u praksi za 5G mrežu, kao i njihova uplink i downlink frekvencijski opseg u kojem djeluju, i dupleks tehnika koja se koristi za određeni frekvencijski pojas [41]. Podaci iz tablice preuzeti su sa službene web stranice organizacije 3GPP (eng. 3rd Generation Partnership Project). Uplink frekvencijski opseg predstavlja vrijednost frekvencija koje se koriste za komunikacija od strane uređaja prema baznoj stanici, dok downlink frekvencijski opseg predstavlja vrijednost frekvencija koje se koriste za komunikaciju od strane bazne stanice prema uređaju. Od dupleks tehnika razlikuju se FDD (eng. Frequency Division Duplex), TDD (eng. Time Division Duplex), SDL (eng. Supplementary Downlink) i SUL (eng. Supplementary Uplink). Kod FDD tehnike moguća je uplink i downlink transmisija istovremeno, ali na različitim frekvencijama, dok se kod TDD tehnike za uplink i downlink transmisiju koristi ista frekvencija, ali se prijenos ne može vršiti istovremeno [42]. SDL predstavlja tehniku koja omogućuje samo downlink transmisiju za određeni frekvencijski opseg, dok SUL predstavlja tehniku koja omogućuje samo uplink transmisiju za određeni frekvencijski opseg [43].

Tablica 1. Frekvencijski pojasevi korišteni u 5G mreži [41]

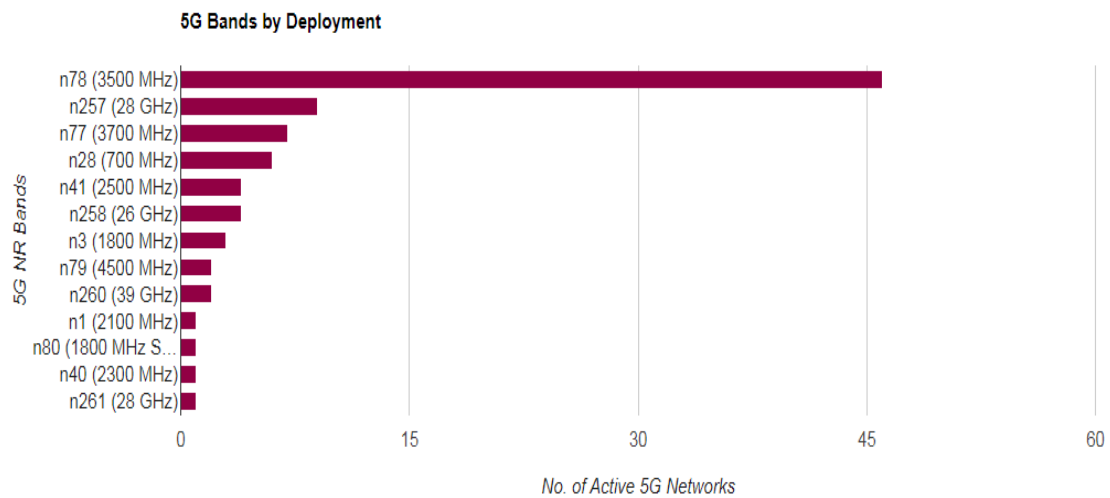
<b>5G frekvenc- ijski pojas</b>	<b>Uplink frekvencijski opseg za transmisiju</b>	<b>Downlink frekvencijski opseg za transmisiju</b>	<b>Dupleks tehnika</b>
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
n14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n29	N/A	717 MHz – 728 MHz	SDL
n30	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD



n46	5150 MHz – 5925 MHz	5150 MHz – 5925 MHz	TDD
n48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n54	1670 MHz – 1675 MHz	1670 MHz – 1675 MHz	TDD
n65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n67	N/A	738 MHz – 758 MHz	SDL
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n85	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD
n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL
n89	824 MHz – 849 MHz	N/A	SUL
n90	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD

n91	832 MHz – 862 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD
n92	832 MHz – 862 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD
n93	880 MHz – 915 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	FDD
n94	880 MHz – 915 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	FDD
n95	2010 MHz – 2025 MHz	N/A	SUL
n96	5925 MHz – 7125 MHz	5925 MHz – 7125 MHz	TDD
n97	2300 MHz – 2400 MHz	N/A	SUL
n98	1880 MHz – 1920 MHz	N/A	SUL
n99	1626.5 MHz -1660.5 MHz	N/A	SUL
n100	874.4 MHz – 880 MHz	919.4 MHz – 925 MHz	FDD
n101	1900 MHz – 1910 MHz	1900 MHz – 1910 MHz	TDD
n102	5925 MHz – 6425 MHz	5925 MHz – 6425 MHz	TDD
n104	6425 MHz – 7125 MHz	6425 MHz – 7125 MHz	TDD
n105	663 MHz – 703 MHz	612 MHz – 652 MHz	FDD
n257	26500 MHz – 29500 MHz	N/A	
n258	24250 MHz – 27500 MHz	N/A	
n259	39500 MHz – 43500 MHz	N/A	
n260	37000 MHz – 40000 MHz	N/A	
n261	27500 MHz – 28350 MHz	N/A	
n262	47200 MHz – 48200 MHz	N/A	
n263	57000 MHz – 71000 MHz	N/A	

Na slici 4.2. predstavljen je grafikon s prikazom broja operatera koji koriste određene frekvencijske pojaseve.



Slika 4.2. Broj operatera koji koriste određene frekvencijske pojaseve [44]

U nastavku će biti analizirani pojasevi n28, n78 i n257 i bit će predstavljen proračun maksimalne brzine koja se može prenijeti preko komunikacijskog kanala, tzv. kapaciteta kanala primjenom Shannon – Hartley teorema za svaki od navedenih frekvencijskih pojaseva. Na temelju navedenih proračuna bit će predstavljena idealna vrsta primjene Interneta stvari za svaki od kanala.

U teoriji informacija, Shannon-Hartleyev teorem govori o maksimalnoj brzini kojom se informacije mogu prenijeti preko komunikacijskog kanala određene propusnosti u prisutnosti šuma [45]. U relaciji 4.1. prikazan je Shannon – Hartley teorem:

$$C=B*\log_2*(1+S/N) \quad (4.1)$$

gdje je:

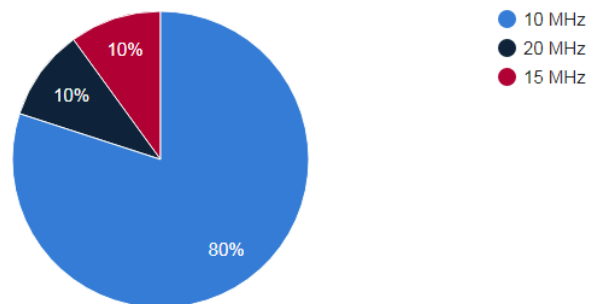
C – kapacitet kanala predstavljen u bitima po sekundi

B – širina pojasa kanala u Hertzima

S/N – omjer signal – šum.

Prilikom proračuna će biti uvrštene karakteristične vrijednosti širine pojasa za svaki od pojedinih kanala i signal - šum omjer razine 13.5 dB, kao referentna razina dobre vrijednosti navedenog parametra [46].

Frekvencijski pojas n28 (700 MHz) koristi FDD tehniku te frekvencije u rasponu od od 703 MHz do 748 MHz za uplink transmisiju, a frekvencije u rasponu od 758 do 803 MHz za downlink transmisiju. Podržane širine pojasa su 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz [44]. Na slici 4.3. prikazan je grafikon s podacima udjela korištenih širina pojasa kod mobilnih operatera koji koriste navedeni frekvencijski pojas.



Slika 4.3. Udio korištenih širina pojasa za n28 frekvencijski pojas [44]

Budući da je širina pojasa od 10 MHz najčešće korištena, ista će biti uzeta u obzir kod proračuna. U nastavku je prikazan proračun kapaciteta kanala napravljen u programskom paketu MATLAB.

```
% Parametri  
  
sirina_pojasa_Hz = 10e6;           % Sirina pojasa u Hz (10 MHz)  
signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)  
  
% Izracun kapaciteta kanala u Mbps  
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;  
  
%Ispis dobivenih rezultata  
fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);
```

>> n28

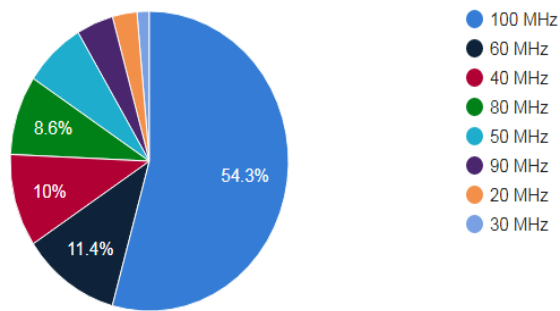
Kapacitet kanala je: 38.58 Mbps

Iz navedenog proračuna vidimo da maksimalna brzina kojom se podaci mogu prenijeti preko komunikacijskog kanala za n28 frekvencijski pojas iznosi 38.58 Mbps.

Vrste primjena Interneta stvari koje zahtijevaju mali kapacitet kanala obično uključuju rijetko slanje malih količina podataka ili ne zahtijevaju brzi prijenos podataka.. Neki primjeri IoT primjena koje zahtijevaju mali kapacitet kanala uključuju:

- 1) Praćenje stanja okoliša: uređaji koji se koriste za praćenje uvjeta okoliša, kao što su temperatura, vlažnost, kvaliteta zraka i razine onečišćenja, obično odašilju male pakete podataka u rijetkim intervalima. Ove aplikacije daju prioritet energetskej učinkovitosti i mogu koristiti uskopojasne komunikacijske tehnologije.
- 2) Praćenje stanja imovine: Praćenje lokacije i statusa imovine kao što je npr. praćenje transportnih kontejnera ili vozila često zahtijeva periodično ažuriranje podataka o lokaciji, koji se mogu prenijeti u malim paketima niske propusnosti.
- 3) Pametna poljoprivreda: u primjeni kod pametne poljoprivrede senzori prikupljaju podatke o vlažnosti tla, vremenskim uvjetima i zdravlju usjeva. Prijenos ovih podataka može zahtijevati nizak kapacitet kanala budući da se ažuriranja mogu zakazati u intervalima na temelju ciklusa rasta usjeva.

Frekvencijski pojas n78 (3500 MHz) koristi TDD tehniku te frekvencije u rasponu od 3300 MHz do 3800 MHz za uplink i za downlink transmisiju. Podržava širine pojasa u iznosu od 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100 MHz [44]. Na slici 4.4. prikazan je grafikon s podacima udjela korištenih širina pojasa kod mobilnih operatera koji koriste navedeni frekvencijski pojas.



Slika 4.4. Udio korištenih širina pojasa za n78 frekvencijski pojas [44]

Budući da je širina pojasa od 10 MHz najčešće korištena, ista će biti uzeta u obzir kod proračuna. U nastavku je prikazan proračun kapaciteta kanala napravljen u programskom paketu MATLAB.

```
% Parametri
sirina_pojasa_Hz = 100e6; % Sirina pojasa u Hz (100 MHz)
signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

%Ispis dobivenih rezultata
fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);

>> n78

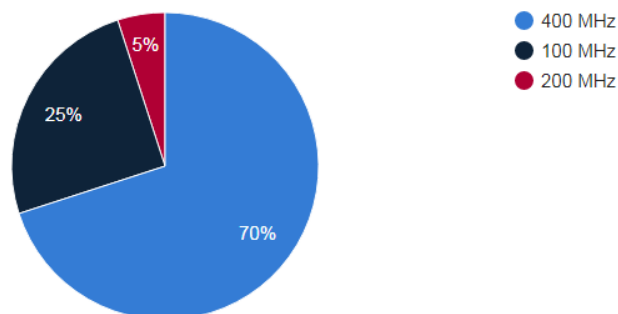
Kapacitet kanala je: 385.80 Mbps
```

Iz navedenog proračuna vidimo da maksimalna brzina kojom se podaci mogu prenijeti preko komunikacijskog kanala za n28 frekvencijski pojas iznosi 385.80 Mbps.

Pojasevi srednjih frekvencija zbog svojih performansi, koje se se očituju mogućnošću šire pokrivenosti od pojasa visokih frekvencija, a veće brzine od pojasa niskih frekvencija predstavljaju idealan izbor za primjenu Interneta stvari kod slučajeva kad je potreban

relativno brz prijenos podataka na umjerene udaljenosti kao što je to slučaj kod pametnih tvornica, pametnih kuća, autonomnih vozila i ostalih primjena gdje je potrebna niska latencija i relativno velika brzina prijenosa signala.

Frekvencijski pojas n257 (28 GHz) koristi TDD tehniku te frekvencije u rasponu od od 26500 MHz do 29500 MHz za uplink i downlink transmisiju. Podržane širine pojasa su 50 MHz, 100 MHz, 200 MHz i 400 MHz [44]. Na slici 4.5. prikazan je grafikon s podacima udjela korištenih širina pojasa kod mobilnih operatera koji koriste navedeni frekvencijski pojas.



Slika 4.4. Udio korištenih širina pojasa za n257 frekvencijski pojas [44]

Budući da je širina pojasa od 400 MHz najčešće korištena, ista će biti uzeta u obzir kod proračuna. U nastavku je prikazan proračun kapaciteta kanala napravljen u programskom paketu MATLAB.

```
% Parametri
sirina_pojasa_Hz = 400e6; % Sirina pojasa u Hz (400 MHz)
signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

%Ispis dobivenih rezultata
```

```
fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);  
  
>> n257  
  
Kapacitet kanala je: 1543.19 Mbps
```

Iz navedenog proračuna vidimo da maksimalna brzina kojom se podaci mogu prenijeti preko komunikacijskog kanala za n257 frekvencijski pojas iznosi 1543.19 Mbps.

Primjena pojasa visokih frekvencija zbog svojih velikih brzina prijenosa, ali malih udaljenosti na kojima mogu vršiti prijenos podataka u Internetu stvari bazira se na one primjene u urbanim područjima s velikom gustoćom korisnika i uređaja, kao što su npr. velike poslovne zgrade, stadioni, poslovne četvrti i slično.

### **4.3. Primjena Interneta stvari u 5G mreži na primjeru autonomnih vozila**

Autonomna vozila su vozila za čije upravljanje nije potrebna ljudska intervencija, tj. ona vozila koja mogu izvršavati sve svoje funkcije i radnje bez posredstva čovjeka. Da bi se to omogućilo, vozilo treba biti opremljeno sa sensorima zvuka, ultrazvučnim sensorima za detekciju prepreka, kamerama za detekciju horizontalne signalizacije na cestama, pješaka i drugih objekata koje je kamera u mogućnosti detektirati, GPS sustavom za navigaciju kako bi se mogla utvrditi lokacija vozila i ostalom opremom koja može utjecati na rad autonomnih vozila. Svi ti uređaji moraju biti povezani u Internet stvari kako bi mogli međusobno razmjenjivati podatke o objektima i stanju na cestama i da vozilo može pravovremeno reagirati i izvršiti potrebne radnje kako bi se spriječile potencijalne nesreće na cesti i kako bi se daljnja vožnja odvijala nesmetano.

Povezanost uređaja u Internet stvari preko 5G mreže predstavlja temeljnu značajku za komunikaciju kod autonomnih automobila, pomažući u održavanju povezanosti vozila, infrastrukture, vozača i pješaka. Autonomni automobili koriste velike brzine dostupne u 5G mreži, nisku latenciju i kapacitet za prijenos velikih količina podataka kako bi postali učinkovitiji [47]. Podjela prema načinu komunikacije se može izvršiti na sljedeći način:

- 1) V2V (eng. Vehicle to vehicle) – komunikacija između dva ili više autonomnih vozila
- 2) V2I (eng. Vehicle to infrastructure) – komunikacija između vozila i senzora postavljenih na cestovnoj infrastrukturi



Od svih značajki 5G mreže, niska latencija nameće se kao najbitnija u primjeni kod autonomnih vozila iz razloga što smanjeno vrijeme kašnjenja signala predstavlja smanjeno vrijeme reakcije u vožnji, što u određenim slučajevima može biti od značajnog utjecaja i spasiti život i imovinu u slučaju nepredviđenih situacija prilikom vožnje. Jedan od takvih primjera je kočenje na cesti prilikom vožnje, gdje o iznosu puta kočenja osim brzine, uvjeta na cesti, itd., ovisi i vrijeme reakcije prilikom kočenja.

Prikazana je relacija 4.2. za put kočenja na suhoj cesti bez nagiba, uzimajući u obzir brzinu kretanja vozila, vrijeme reakcije i koeficijent trenja između guma i ceste [48].

$$d = 0.278*v*t + v^2/(254*\mu) \quad (4.2.)$$

gdje je:

d – duljina puta kočenja u metrima

v – brzina kretanja vozila

t – vrijeme reakcije

$\mu$  – koeficijent trenja između guma i ceste

Tipičan koeficijent trenja između guma i ceste na suhoj cesti iznosi 0.7 [49].

Kako bi se predstavila značajka latencije u prijenosu signala kod 5G mreže, bit će predstavljen proračun puta kočenja pri brzini od 70 km/h u slučaju da se signal za pritisak kočnice prenosi putem 5G mreže uz latenciju kod 5G mreže u iznosu od 10 ms, a kod 4G mreže u iznosu od 200 ms [50].

U nastavku je priložen proračun duljine puta kočenja u slučaju da se za prijenos signala koristi 5G mreža napravljen u programskom paketu MATLAB:

```
% Parametri  
  
brzina_vozila = 70;;           % Brzina vozila u km/h  
  
latencija = 0.01;             % Latencija signala u 5G mreži iskazana  
u sekundama (10 ms = 0.01 s)  
  
koeficijent_trenja = 0.7;     % Koeficijent trenja između guma i vozila  
na suhoj cesti
```

```
% Izračun duljine puta kočenja

put_kocenja = (0.278*brzina_vozila*latencija) +
((brzina_vozila)^2)/(254*koeficijent_trenja);
```

```
%Ispis dobivenih rezultata
```

```
fprintf('Duljina puta kočenja je: %.2f m\n', put_kocenja);
```

```
>> put_kocenja_5g
```

```
Duljina puta kočenja je: 27.75 m
```

**Nadalje, priložen je proračun duljine puta kočenja u slučaju da se za prijenos signala koristi 4G mreža napravljen u programskom paketu MATLAB:**

```
% Parametri
```

```
brzina_vozila = 70;; % Brzina vozila u km/h
```

```
latencija = 0.2; % Latencija signala u 4G mreži iskazana u
sekundama (200 ms = 0.2 s)
```

```
koeficijent_trenja = 0.7; % Koeficijent trenja između guma i vozila
na suhoj cesti
```

```
% Izračun duljine puta kočenja
```

```
put_kocenja = (0.278*brzina_vozila*latencija) +
((brzina_vozila)^2)/(254*koeficijent_trenja);
```

```
%Ispis dobivenih rezultata
```

```
fprintf('Duljina puta kočenja je: %.2f m\n', put_kocenja);
```

```
>> put_kocenja_4g
```

```
Duljina puta kočenja je: 31.45 m
```

Iz proračuna je vidljivo da je put kočenja pri brzini od 70 km/h u slučaju da se signal koji ukazuje autonomnom vozilu da mora izvršiti pritisak kočnice prenosi putem 5G mreže iznosi 27.75 m, a u slučaju da se prenosi putem 4G mreže iznosi 31.45 m, što predstavlja razliku od 3.7 m, što u nekim slučajevima može biti od velikog značaja i spriječiti potencijalnu prometnu nesreću.

#### **4.4. Primjena Interneta stvari u 5G mreži na primjeru zdravstva**

Primjena Interneta stvari u zdravstvu je od velikog značaja za poboljšanje kvalitete zdravstvene skrbi i kvalitete života ljudi. Jedan od primjera primjene Interneta stvari u zdravstvu su prijenosni uređaji koje čovjek može bez ometanja nositi na vlastitom tijelu, koji mjere određene parametre tjelesnih funkcija, analiziraju ih i procesiraju te šalju putem mreže udaljenim putem do drugih uređaja postavljenih u zdravstvenoj ustanovi te time daju uvid zdravstvenim djelatnicima o zdravstvenom stanju pacijenta.

Potreba za osobnim praćenjem zdravlja i prevencijom bolesti raste zbog predvidljivog dramatičnog porasta broja ljudi koji stare. Korištenje 5G mreže za prijenos informacija kod prijenosnih uređaja u zdravstvu može znatno smanjiti troškove dijagnosticiranja i prevencije bolesti te spasiti živote pacijenata. Ova bi tehnologija mogla poboljšati rehabilitaciju pacijenata izvan bolnica i kontinuirano pratiti tjelesnu aktivnost ljudi [51].

U daljnjoj analizi će biti prikazan osvrt na mogućnost 5G mreže da spoji velik broj uređaja, u ovom slučaju prijenosnih uređaja za praćenje razine krvnog tlaka kod pacijenata. Bit će napravljena usporedba s mogućnošću spajanja određenog broja uređaja u slučaju da se za prijenos podataka koristi 4G mreža.

Uzevši u obzir podatak o kapacitetu kanala kod frekvencijskog pojasa n78 u 5G mreži koji je izračunat u ovom radu, kapacitetu kanala kod frekvencijskog pojasa B3 u 4G mreži koji će biti izračunat čiji iznos prema relaciji 4.1 i količini podataka koju prijenosni uređaj za mjerenje tlaka u jedinici sekunda, a to je 1.2 kbps [52], bit će uspoređena mogućnost za spajanje određenog broja uređaja na mrežu.

Uzevši u obzir širinu pojasa od 20 MHz za frekvencijski pojas B3 u 4G mreži [53], signal šum omjer istog iznosa kao što je uvršten u proračun za pojaseve u 5G mreži, a to je 13.5

dB, prema relaciji 4.1. prikazan je proračun za kapacitet kanala u programskom paketu MATLAB.

```
% Parametri

sirina_pojasa_Hz = 20e6; % Sirina pojasa u Hz (20 MHz)

signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps

kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

%Ispis dobivenih rezultata

fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);

>> B3

Kapacitet kanala je: 77.16 Mbps
```

Vidljivo je da je kapacitet kanala za frekvencijski pojas B3 kod 4G mreže iznosa 77.16 Mbps, dok je kod n78 frekvencijskog pojasa kapacitet kanala iznosa 385.80 Mbps. Omjer između količine podataka koju prijenosni uređaj za mjerenje tlaka šalje u jedinici sekunde i kapaciteta kanala frekvencijskog pojasa B3 i n78 prikazan je u tablici 4.1.

Tablica 2. Prikaz omjera između količine podataka koju prijenosni uređaj za mjerenje tlaka šalje u jedinici sekunde i kapaciteta kanala frekvencijskog pojasa B3 i n78

Kapacitet kanala	Količina podataka za prijenosni uređaj	Omjer(Količina podataka za prijenosni uređaj/Kapacitet kanala)
B3 = 77.16 Mbps	1.2 kbps	$1.55 \cdot 10^{-5}$
n78 = 385.80 Mbps	1.2 kbps	$3.11 \cdot 10^{-6}$

Uzevši u obzir da je omjer količine podataka koje prijenosni uređaj šalje i kapaciteta kanala B3 veći za jedan red veličine od omjera u slučaju kanala n78, moguće je zaključiti da će uz ostale faktore, kao što su spektralna efikasnost, iznos signal-šum omjera, mrežna topologija i slično, manja opterećenost kanala u slučaju 5G mreže utjecati na veći potencijalni broj spojenih uređaja u mreži u odnosu na 4G mrežu.

## 5. ZAKLJUČAK

Obradom teme primjene Interneta stvari u 5G mreži moguće je uvidjeti prednosti korištenja 5G mreže kao idealne tehnologije za prijenos podataka kod određenih primjena koje zahtijevaju veliku brzinu prijenosa podataka, nisku latenciju i velik broj povezanih uređaja. Upravo niska latencija kao jedna od najbitnijih značajki 5G mreže predstavlja najveći napredak u primjeni Interneta stvari kod autonomnih vozila, u zdravstvu i drugim primjenama gdje je brzina reakcija najbitnija značajka i može utjecati na mnoge rizične faktore.

Daljnjim razvojem Interneta stvari, i ekspanzijom uporabe 5G mreže, moguće je očekivati daljnji napredak u performansama Interneta stvari za upotrebu industriji i poslovanju, ali i u svakodnevnom životu.

## LITERATURA

- [1] <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [2] <https://hackr.io/blog/top-10-iot-applications>
- [3] <https://www.britannica.com/science/Internet-of-Things>
- [4] <https://www.elfadistelec.no/en/infrared-temperature-sensor-6v-adafruit-1747/p/30139059>
- [5] <https://www.lantronix.com/products/g520/>
- [6] Pallavi Sethi, Smruti R. Sarangi, "Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications", Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 2017, Article ID 9324035, 25 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9324035>
- [7] <https://www.uistore.design/items/smart-home-ui-kit/>
- [8] <https://iot4beginners.com/short-range-wireless-communication-technology-and-its-variants/>
- [9] <https://www.linksys.com/linksys-wifi-5-router-dual-band-ac1200-e5400/E5400.html>
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>
- [11] <https://stl.tech/blog/what-are-the-applications-of-iot/>
- [12] C. Yang, W. Shen and X. Wang, "Applications of Internet of Things in manufacturing," 2016 IEEE 20th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), Nanchang, China, 2016, pp. 670-675 [https://www.researchgate.net/profile/Chen-Yang-151/publication/303267268\\_Applications\\_of\\_Internet\\_of\\_Things\\_in\\_Manufacturing/links/59f88f2a0f7e9b553ec0b64c/Applications-of-Internet-of-Things-in-Manufacturing](https://www.researchgate.net/profile/Chen-Yang-151/publication/303267268_Applications_of_Internet_of_Things_in_Manufacturing/links/59f88f2a0f7e9b553ec0b64c/Applications-of-Internet-of-Things-in-Manufacturing)
- [13] <https://www.impinj.com/products/technology/how-can-rfid-systems-be-categorized>
- [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_identification](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification)
- [15] <https://www.aucxis.com/en/rfid/rfid-technology>
- [16] Djassemi, M., & Singh, J. (2005). The Use of RFID in Manufacturing and Packaging Technology Laboratories. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Use-of-RFID-in-Manufacturing-and-Packaging-Djassemi-Singh/533f0333e962b7727ad02efd93a763d08dc628a6>
- [17] <https://www.peerbits.com/blog/internet-of-things-healthcare-applications-benefits-and-challenges.html>
- [18] <https://ordr.net/article/iot-healthcare-examples/>

- [19] <https://spectrum.ieee.org/robotic-surgery>
- [20] <https://atlas-scientific.com/blog/how-do-humidity-probes-work/>
- [21] [https://en.wikipedia.org/wiki/5G\\_NR](https://en.wikipedia.org/wiki/5G_NR)
- [22] <https://www.5g.hr/tehnologija/povijesni-razvoj-javnih-mobilnih-mreza/>
- [23] <https://commsbrief.com/what-are-cells-in-mobile-communications/>
- [24] <https://www.customtruck.com/blog/the-history-of-cellular-networks-and-broadband/>
- [25] <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/resources/article/the-evolution-of-cellular-networks/>
- [26] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/requirements.php>
- [27] <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-beamforming-beam-steering-and-beam-switching-with-massive-mimo>
- [28] <https://www.comba-telecom.com/en/solutions/cell-site/5g-massive-mimo-antenna>
- [29] <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/mobile/inspired/5G>
- [30] <https://www.viavisolutions.com/en-us/what-5g-energy-consumption>
- [31] <https://www.a1.hr/hr/karta-pokrivenosti>
- [32] <https://www.linkedin.com/advice/0/what-key-ran-components-functions-5g-network-skills-ran>
- [33] <https://www.viavisolutions.com/en-uk/what-5g-architecture>
- [34] <https://www.wilsonamplifiers.com/blog/5g-frequency-bands-explained/>
- [35] <https://www.5gtechnologyworld.com/the-basics-of-5gs-modulation-ofdm/>
- [36] <https://www.everythingrf.com/community/what-is-ofdm>
- [37] <https://www2.stardust-testing.com/en/5g-and-impact-on-iots>
- [38] <https://www.iotsworldcongress.com/advantatges-of-5g-and-how-will-benefit-iot/>
- [39] <https://stl.tech/blog/5g-technology-and-its-impact-on-iot-internet-of-things/>
- [40] <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-network-slicing>
- [41] 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 18), str 34-37, <http://www.3gpp.org>
- [42] <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/5G-FDD-vs-5G-TDD.html>

- [43] <https://devopedia.org/5g-spectrum>
- [44] <https://halberdbastion.com/technology/cellular/5g-nr/5g-frequency-bands>
- [45] [https://www.brainkart.com/article/Shannon-Hartley-Theorem\\_13152/](https://www.brainkart.com/article/Shannon-Hartley-Theorem_13152/)
- [46] <https://www.techplayon.com/5g-nr-sinr-measurement-and-its-mapping/>
- [47] <https://www.robustel.com/iot-technology-solutions-blog/how-5g-autonomous-vehicles-will-benefit-from-5g-1/>
- [48] <https://civilnoteppt.com/how-to-calculate-stopping-sight-distance-mathematical-example/>
- [49] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Mechanics/frictire.html>
- [50] <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide-digital-identity-and-security/mobile/magazine/5g-vs-4g-whats-difference>
- [51] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10007389/#B11-sensors-23-02519>
- [52] [https://www.researchgate.net/figure/Typical-Sensor-Types-and-Data-Rates-9\\_tbl2\\_280081636](https://www.researchgate.net/figure/Typical-Sensor-Types-and-Data-Rates-9_tbl2_280081636)
- [53] <https://halberdbastion.com/technology/cellular/4g-lte/lte-frequency-bands/b3-1800-mhz>



## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Primjena Interneta stvari [2] .....	3
Slika 2. Rasprostranjenost ARPANET-a u rujnu 1974. godine [3] .....	6
Slika 3. Temperaturni senzor [4] .....	7
Slika 4. Pristupnik (eng. gateway) [5] .....	8
Slika 5. Aplikacija za pametnu kuću [7] .....	9
Slika 6. Wi-Fi router [9] .....	13
Slika 7. Blok shema rada RFID sustava [15] .....	16
Slika 8. Ilustracija primjene RFID tehnologije u proizvodnoj industriji [16] .....	17
Slika 9. Operacija izvođena udaljenim putem [19] .....	18
Slika 10. Kapacitivni senzor vlažnosti tla [20] .....	19
Slika 11. Ilustracija ćelijske mobilne mreže [23] .....	21
Slika 12. Razvoj mobilnih mreža [25] .....	23
Slika 13. Oblikovanje snopa [27] .....	24
Slika 14. 5G Massive MIMO antena [28] .....	25
Slika 15. Pokrivenost 5G mrežom na području Republike Hrvatske od strane operatera A1 Hrvatska [31] .....	27
Slika 16. 5G mrežna arhitektura [33] .....	30
Slika 17. Utjecaj Interneta stvari na kvalitetu i sigurnost cestovnog prometa [39] .....	34

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Frekvencijski pojasevi korišteni u 5G mreži [41].....	36
Tablica 2. Prikaz omjera između količine podataka koju prijenosni uređaj za mjerenje tlaka šalje u jedinici sekunde i kapaciteta kanala frekvencijskog pojasa B3 i n78.....	48

## PRILOZI

Prilog 1. MATLAB programski kod za proračun kapaciteta kanala u pojasu n28

```
% Parametri
sirina_pojasa_Hz = 10e6;           % Sirina pojasa u Hz (10 MHz)
signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);
```

Prilog 2. MATLAB programski kod za proračun kapaciteta kanala u pojasu n78

```
% Parametri
sirina_pojasa_Hz = 100e6;         % Sirina pojasa u Hz (100 MHz)
signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

%Ispis dobivenih rezultata
fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);
```

Prilog 3. MATLAB programski kod za proračun kapaciteta kanala u pojasu n257

```
% Parametri
sirina_pojasa_Hz = 400e6;         % Sirina pojasa u Hz (400 MHz)
signa_sum_omjer = 13.5; % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

%Ispis dobivenih rezultata
fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);
```

Prilog 4. MATLAB programski kod za računanje duljine puta kočenja (4G)

```
% Parametri
brzina_vozila = 70;;              % Brzina vozila u km/h
latencija = 0.2;                  % Latencija signala u 4G mreži iskazana u
sekundama (200 ms = 0.2 s)
koeficijent_trenja = 0.7;        % Koeficijent trenja između guma i vozila na
suhoj cesti

% Izračun duljine puta kočenja
put_kocenja = (0.278*brzina_vozila*latencija) +
((brzina_vozila)^2)/(254*koeficijent_trenja);

%Ispis dobivenih rezultata
fprintf('Duljina puta kočenja je: %.2f m\n', put_kocenja);
```

Prilog 5. MATLAB programski kod za računanje duljine puta kočenja (5G)

```
% Parametri
brzina_vozila = 70;           % Brzina vozila u km/h
latencija = 0.01;           % Latencija signala u 5G mreži iskazana u
sekundama (10 ms = 0.01 s)
koeficijent_trenja = 0.7;    % Koeficijent trenja između guma i vozila na
suhaj cesti

% Izračun duljine puta kočenja
put_kocenja = (0.278*brzina_vozila*latencija) +
((brzina_vozila)^2)/(254*koeficijent_trenja);

%Ispis dobivenih rezultata
fprintf('Duljina puta kočenja je: %.2f m\n', put_kocenja);
```

Prilog 6. MATLAB programski kod za računanje kapaciteta kanala u pojasu B3

```
% Parametri
sirina_pojasa_Hz = 20e6;      % Sirina pojasa u Hz (20 MHz)
signa_sum_omjer = 13.5;      % Signal-sum omjer u dB (13.5 dB)

% Izracun kapaciteta kanala u Mbps
kapacitet_kanala = (sirina_pojasa_Hz*log2(1 + signa_sum_omjer)) * 1e-6;

%Ispis dobivenih rezultata
fprintf('Kapacitet kanala je: %.2f Mbps\n', kapacitet_kanala);
```