

# Integracija 5G tehnologija u prometu

---

**Perković, Borna**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:448197>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**BORNA PERKOVIĆ**

**INTEGRACIJA 5G TEHNOLOGIJA U PROMETU**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**INTEGRACIJA 5G TEHNOLOGIJA U PROMETU  
INTEGRATION OF 5G TECHNOLOGIES IN TRAFFIC**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Pomorski komunikacijski uređaji

Mentor: dr.sc. Zoran Mrak

Student: Borna Perković

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0318002764

Rijeka, Rujan 2023

Student: Borna Perković

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0318002764

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

Integracija 5G tehnologija u prometu

*(naslov završnog rada)*

izradio samostalno pod mentorstvom

dr. sc Zoran Mrak

*(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)*

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

Borna Perković

*(potpis)*

Ime i prezime studenta: Borna Perković

Student: Borna Perković

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0318002764

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student – autor

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

## **SAŽETAK**

U ovom radu govoriti će se primarno o integraciji 5G mreže u promet, kako i na koji način je poboljšala promet. Početi ćemo sa povijesti razvoja mobilne komunikacijske mreže, a zatim detaljnije objasniti napretke u 5G mreži nad svojim prethodnicima i potencijalne primjene koje može imati u promet. Razmotriti ćemo korištenje 5G mreže u promet na pametnim semaforima i raskrižjima. Razmotriti ćemo primjenu 5G mreže na putničkim brodovima i na avionima. Na kraju, istaknuti ćemo neke pozitivne i negativne strane primjene 5G mreže u promet i razmotriti potencijalna poboljšanja koja bi 5G mreža mogla dobiti u budućnosti.

Ključne riječi: 5G, Pametni promet, Internet stvari, umrežena vozila

## **SUMMARY**

This paper will talk primarily about the integration of the 5G network in traffic, how and in what way it improved traffic. We will start with the history of the development of the mobile communication network, and then explain in more detail the advances in the 5G network over its predecessors and the potential applications it can have in traffic. We will consider the use of the 5G network in traffic at smart traffic lights and intersections. We will consider the application of 5G networks on passenger ships and airplanes. Finally, we will highlight some positive and negative aspects of the application of the 5G network in traffic and consider the potential improvements that the 5G network could receive in the future.

Keywords: 5G, Smart traffic, Internet of things, connected vehicles

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>II</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>III</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. POVIJEST 5G TEHNOLOGIJE</b> .....	<b>2</b>
2.1. RAZVOJ MOBILNE MREŽE .....	2
2.2.1. <i>ANALOGNA TELEFONSKA MREŽA PRVE GENERACIJE (1G)</i> .....	2
2.2.2. <i>GSM 2G MREŽA</i> .....	3
2.2.3. <i>GSM 3G MREŽA</i> .....	5
2.2.4. <i>GSM 4G MREŽA</i> .....	7
<b>3. PETA GENERACIJA MOBILNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE (5G)</b> .....	<b>11</b>
3.1. KARAKTERISTIKE 5G MREŽE .....	13
<b>4. INTEGRACIJA 5G MREŽE U PROMET</b> .....	<b>16</b>
4.1. UMREŽENA VOZILA .....	16
4.1.1 <i>“DRUGA ERA” UMREŽENIH VOZILA</i> .....	17
4.2 INTEGRACIJA 5G MREŽE U CESTOVNI PROMET .....	17
4.2.1 <i>PAMETNI SEMAFORI</i> .....	18
4.2.2. <i>PAMETNA RASKRIŽJA</i> .....	20
4.3 PRIMJENA 5G TEHNOLOGIJA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA.....	21
4.4 INTEGRACIJA 5G TEHNOLOGIJA NA ZRAKOPLOVIMA .....	23
5. PROBLEM INFRASTRUKTURE U 5G MREŽAMA.....	25
5.1 PREDNOSTI I NEDOSTACI UPOTREBE 5G MREŽE U PROMETU .....	26
5.2. POBOLJŠANJA KOJA ĆE UČINITI 5G TEHNOLOGIJU DOSTUPNIJOM.....	27
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>28</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>29</b>

# 1. UVOD

Danas živimo u eri globalne povezanosti gdje pomoću pametnih uređaja i računala imamo pristup informacijama sa svih strana svijeta. Od ranih početaka gdje smo imali analognu komunikaciju pa sve do danas kada imamo bežičnu 5G mrežu vidimo ogromne napretke u svim segmentima života.

Razvojem prometa, razvijaju se i novi načini upravljanja svih vrsta prometa, od cestovnog do zračnog, sve kako bi se rasteretila raskrižja, ubrzao promet i stvorilo ugodnije iskustvo za sve sudionike u prometu. Danas vidimo sve veću potražnju za 5G internetom u svim segmentima života što uvjetuje razvoj sve bržeg i povezanijeg interneta. Razvojem 5G tehnologije dobili smo velike brzine prijenosa podataka sa vrlo niskom latencijom koja nam je omogućila besprijekorno *surfanje* po internetu i *streamanje* sadržaja. U prometu, uočavamo sve više pametnijih rješenja za zagušena područja primjenom pametnih raskrižja sa integriranim pametnim semaforima. Za svu komunikaciju tih uređaja možemo koristiti 5G koji pomoću svoje bežične konekcije može doseći područja koja inače nisu lako dostupna žičanim putem. Po prvi puta vidimo mobilni internet u avionima unutar zračnog prostora EU primjenom novih pikoćelija koje ne ometaju rad navigacijskih uređaja u avionima.

Sve te novosti došle su kroz proteklu dekadu tako da od ovog trenutka pa nadalje možemo očekivati samo još veći napredak i primjenu 5G tehnologije u još više segmenata prometa.



## 2. POVIJEST 5G TEHNOLOGIJE

Proteklih četrdeset godina obilježilo je značajno i ubrzano razvijanje mobilne mreže. Kako bi razumjeli 5G mrežu odnosno 5. generaciju mobilne mreže bitno znati nešto o razvoju same mreže.

### 2.1. RAZVOJ MOBILNE MREŽE

Današnja 5G mreža imala je poprilično dug put razvoja do danas. Sve je počelo 80-ih godina 20. stoljeća kada se razvila prva mobilna mreža i od tada se počela razvijati velikom brzinom da bi dobili današnju 5G mrežu koja sudeći po potražnji, neće biti posljednja u nizu.

#### 2.2.1. ANALOGNA TELEFONSKA MREŽA PRVE GENERACIJE (1G)

Prvu telefonsku mrežu je razvila tvrtka Nippon Telephone and Telegraph Company u Tokyu 1979.godine. Bila je analogna i imala je brojne nedostatke zbog tehnoloških ograničenja. 1G se temeljila na analognim signalima i koristila je višestruki pristup s frekvencijskom podjelom (FDMA – *Frequency Division Multiple Access*) za podjelu dostupnog frekvencijskog spektra na više kanala što je omogućilo više korisnika da istovremeno pristupe mreži. Iako je bila poprilično revolucionarna za to doba, imala je značajne propuste u samoj kvaliteti usluge odnosno bilo je poprilično teško razumjeti osobu s kojom smo razgovarali na daljinu budući da je kvaliteta zvuka bila loša. [1]

**Tablica 1 - Karakteristike Analogue mobilne mreže 1G**

Frekvencija	800MHz / 900MHz
širina frekvencijskog pojasa	10 MHz (666 duplex kanala sa širinom frekvencijskog pojasa od 30KHz)
Tehnologija	Analogna
Vrsta Modulacije	Frekvencijska modulacija (FM)
Pristupna tehnika	Frequency Division Multiple Access (FDMA)

izvor: Pripremio student Borna Perković prema izvoru: <http://ijmcr.com/wp-content/uploads/2015/11/Paper11100-1103.pdf>

Različite zemlje i regije usvojile su različite 1G standarde. Na primjer, sustav naprednih mobilnih telefona (AMPS – *Advanced Phone Mobile System*) korišten je u Sjevernoj Americi, dok je sustav nordijskih mobilnih telefona (NMT – *Nordic Mobile Telephone*) prevladavao u Europi. [4]

Kako bi se realizirala 1G mreža, diljem zemlje izgrađeni su tornjevi za odašiljanje signala, što je omogućilo pokrivenost na veliku udaljenost. Međutim, mreža je bila nepouzdana i imala je nekih sigurnosnih problema. Na primjer, pokrivenost signalom bi često opadala, doživjela bi smetnje drugih radijskih signala, a zbog nedostatka enkripcije lako se mogla hakirati. Važno je napomenuti da su 1G mreže sada zastarjele i više se ne koriste. Zamijenjene su naprednijim generacijama, uključujući 2G, 3G, 4G i 5G, koje nude značajno veće brzine prijenosa podataka, poboljšanu kvalitetu poziva i podršku za širok raspon multimedijских aplikacija. Unatoč svojim ograničenjima, mobilna telefonska mreža (1G) je odigrala ključnu ulogu u postavljanju temelja za budući razvoj mobilne telefonije omogućivši prijelaz na digitalnu tehnologiju, povećanje kapaciteta i uvođenje naprednih značajki u kasnijim generacijama.[1]

### **2.2.2. GSM 2G MREŽA**

Prateći golemi uspjeh prve generacije mobilne mreže odnosno mobilne telefonije dolazi do značajne potražnje za još boljom i kvalitetnijom uslugom. 1991. godine *Global System for Mobile Communications* odnosno danas poznat kao GSM, razvija prvu 2G mrežu. Jedna od najznačajnijih prednosti 2G sustava bila je mogućnost digitalne enkripcije telefonskih razgovora. To znači da su glasovni signali kodirani u digitalni oblik prije prijenosa preko mreže. Ova digitalna enkripcija poboljšava sigurnost komunikacija jer otežava neovlaštenim osobama prisluškivanje ili dešifriranje telefonskih razgovora. 2G sustavi koriste digitalnu modulaciju i kompresiju podataka, što omogućuje znatno efikasniju upotrebu dostupnog spektra. To znači da u mobilnim komunikacijskim sustavima 2G (druga generacija) veći broj korisnika može biti istovremeno povezan na mrežu bez potrebe za značajnom količinom radio-frekvencijskog spektra što je ključno za skalabilnost i ekonomičnost mreže.[3]

2G mreža je primarno koristila dvije tehnologije: TDMA (*Time Division Multiple Access*) i CDMA(*Code Division Multiple Access*). *Time Division Multiple Access* (TDMA) je imao značajnu ulogu u mobilnim mrežama druge generacije (2G), posebno u tehnologijama

poput GSM-a (Globalni Sustav za Mobilne komunikacije). U 2G sustavima temeljenim na TDMA, poput GSM-a, raspoloživi frekvencijski pojas dijeli se na više frekvencijskih kanala. Međutim, umjesto tradicionalne podjele frekvencijskog pojasa, TDMA dijeli vrijeme na određenom frekvencijskom kanalu. Svaki frekvencijski kanal dalje se dijeli na niz vremenskih odsječaka. Ti vremenski odsječci obično su vrlo kratki i organizirani su u ponavljajuće okvire. Okvir je fiksno vremensko razdoblje koje sadrži određeni broj vremenskih odsječaka. Svaki vremenski odsječak dodijeljen je određenom korisniku ili komunikacijskoj sesiji. Primjerice, ako je okvir podijeljen na osam vremenskih odsječaka, do osam različitih korisnika može istovremeno komunicirati na istom frekvencijskom kanalu, pri čemu svaki korisnik koristi svoj dodijeljeni vremenski odsječak. Svi uređaji u mreži moraju biti sinkronizirani prema strukturi okvira. To osigurava da svaki uređaj zna kada njegov dodijeljeni vremenski odsječak dolazi u svakom okviru. Ta sinkronizacija ključna je kako bi se spriječili sudari i osigurala besprijekorna komunikacija. TDMA se koristi i za prijenos glasa i podataka. Podaci poput tekstualnih poruka ili digitalnih datoteka mogu se podijeliti na manje pakete i prenositi u zasebnim vremenskim odsječcima unutar okvira. Pruža relativno dobru kvalitetu poziva jer svaki korisnik dobiva posvećeni vremenski odsječak za prijenos. Međutim, kvaliteta poziva može se smanjiti povećanjem broja korisnika što dovodi do zagušenosti i prekidanja poziva.[5]

CDMA uzima cijeli dodijeljeni frekvencijski raspon za danu uslugu i multipleksira informacije za sve korisnike u cijelom rasponu spektra u isto vrijeme. Jednostavnije, CDMA omogućuje svim stanicama simultani prijenos podataka bez potrebe za frekvencijskim ili vremenskim multipleksiranjem. Najveće prednosti CDMA su da nudi visoke brzine prijenosa podataka i vrlo je fleksibilan. Nadalje, za razliku od TDMA, CDMA ne zahtijeva sinkronizaciju. Nedostatak CDMA je da različite stanice dijele i širinu pojasa i vrijeme, što zahtijeva i zaštitne pojaseve i zaštitno vrijeme. [5]

2G mreža je imala veću brzinu prijenosa podataka koja je sezala do 64kbps, veću sigurnost, glasovne i podatkovne usluge, veći sistemski kapacitet i veću pokrivenost. 2G mreže postavile su temelje za sljedeće generacije, otvarajući put daljnjem napretku tehnologije mobilne komunikacije. Kasnije su ih slijedili 3G, 4G i 5G, koji su uveli veće brzine prijenosa podataka, poboljšane multimedijske mogućnosti i podršku za širok raspon aplikacija i usluga.[1]

### 2.2.3. GSM 3G MREŽA

Uvođenje 3G-a označilo je značajnu prekretnicu u mobilnoj tehnologiji, omogućujući korisnicima *surfanje webom*, *streamanje* videa i upućivanje videopoziva – aktivnosti koje su nekada bile nezamislive na mobilnim uređajima.

3G, ili treća generacija mobilne tehnologije, omogućuje internetsku povezanost na mobilnim telefonima i uređajima korištenjem baznih stanica, RNC-a (*Radio Network Controller*) i mreže za odašiljanje signala. To je rezultiralo stabilnom i relativno brzom vezom, što nam je omogućilo uživanje u internetskim uslugama na našim pametnim telefonima i drugim uređajima. Da bi bile klasificirane kao 3G, usluge moraju zadovoljiti tehničke standarde IMT-2000 Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU), koji uključuju standarde mobilne mreže za pouzdanost i brzinu (brzine prijenosa podataka). Da bi bio prihvaćen, sustav mora pokazivati očekivanu vršnu brzinu prijenosa podataka od najmanje 144 kbit/s. Pridržavanje ovog standarda bitno je za korištenje sustava.[3]

Koncept IMT-a nastao je sredinom 1980-ih u ITU-u. Bilo je potrebno više od deset godina za odobravanje standarda za sustave sljedeće generacije. Ovi standardi su označeni kao IMT-2000. Prema tehničkim specifikacijama, spektar između 400 MHz i 3 GHz proglašen je tehnički prikladnim za treću generaciju. IMT-2000 je rezultat suradnje mnogih subjekata, unutar ITU (ITU-R i ITU-T), i izvan ITU (3GPP, 3GPP2, UWCC i tako dalje). Ovo odobrenje omogućilo je potpunu interoperabilnost i međusobno djelovanje mobilnih sustava. [1]

3G tehnologija se u osnovi sastoji od tri tehnologije:

- CDMA2000 – višestruki pristup s kodnom podjelom
- TD-SCDMA – višestruki pristup s vremenskim dijeljenjem sinkronog koda
- W-CDMA (UMTS) – Širokopolasni višestruki pristup s kodnom podjelom

Kodirani višestruki pristup (CDMA) digitalna je tehnologija koja se koristi za mobilnu komunikaciju. CDMA je osnova na kojoj su izgrađene metode pristupa kao što su cdmaOne, CDMA2000 i WCDMA. CDMA mobilni sustavi smatraju se superiornijima od FDMA i TDMA, zbog čega CDMA igra ključnu ulogu u izgradnji učinkovitih, robusnih i sigurnih radio-komunikacijskih sustava. U CDMA, svi signali zauzimaju istu frekvencijsku širinu pojasa i prenose se istovremeno, ali se različiti signali međusobno razlikuju na prijammiku pomoću specifičnih kodova za širenje. CDMA2000 je nadograđena verzija specifikacije IMT-2000 s

višestrukim pristupom kodne podjele (CDMA) koju je razvila Međunarodna Unija za Telekomunikacije (ITU).[2]

Sastoji se od skupine standarda za glasovne i podatkovne usluge:

- Glas – CDMA2000 1xRTT, 1X Advanced
- Podaci – CDMA2000 1xEV-DO (*Evolution-Data Optimized*)

TD-SCDMA (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*) je višestruki pristup s vremenskim dijeljenjem sinkronog koda. Također se naziva i kineski 3G standard sličan europskom 3G (*Wideband Code Division Multiple Access*). TD-SCDMA koristi različite frekvencijske pojaseve od 1785 MHz do 2220 MHz. Koristi propusnost od 1,6 MHz ili 5 MHz na temelju Mcps (*Media Control Protocol Stack*) zahtjeva.[3]

W-CDMA, što znači *Wideband Code Division Multiple Access*, je bežični komunikacijski standard koji se koristi u *Universal Mobile Telecommunications System-u* (UMTS), često nazivan 3G (treća generacija) mobilna tehnologija. Dizajniran je da pruži visokobrzinske podatkovne i glasovne usluge za mobilne telefone i druge bežične uređaje.[3]

Sigurnost 3G mreža nadmašila je sigurnost 2G mreža zahvaljujući bežičnoj vezi koju pružaju davatelji mobilnih usluga, koja prenosi signale između baznih stanica, sigurno povezujući mobilne telefone. 3G je imao svoje prvo komercijalno predstavljanje od strane NTT DoCoMo u Japanu 1. listopada 2001., nakon čega je Telenor otvorio svoju komercijalnu mrežu u Europi u prosincu 2001.

Neke od glavnih značajki 3G su:

- Brzina do 2 Mbps
- Povećana propusnost i brzina prijenosa podataka
- Slanje/primanje velikih poruka e-pošte
- Veliki kapaciteti i širokopojasne mogućnosti

#### 2.2.4. GSM 4G MREŽA

Sve većom uporabom mobilnih tehnologija povećavala se i potreba za sve bržim i boljim mobilnim internetom. 4G tehnologija razlikuje se poprilično od svojih prethodnika. Njen razvitak je potenciran velikim napretkom u razvijanju internet tehnologija. Zasniva se na MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) i OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) tehnologijama.

MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) tehnologija je koncept u bežičnim komunikacijama koji uključuje upotrebu više antena kako bi se poboljšala brzina prijenosa podataka, kvaliteta signala i učinkovitost bežične komunikacije. Ova tehnologija je ključna komponenta modernih bežičnih mreža kao što su Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) i mobilne mreže (3G, 4G, 5G). Osnovni princip MIMO tehnologije sastoji se od slanja i primanja multipleksiranih (paralelnih) podataka putem više antena na odašiljaču i više antena na prijatelju. To omogućava više staza za komunikaciju između odašiljača i prijatelja, što rezultira boljom izvedbom komunikacije. [7]

Najvažnija dva standarda 4G mreže su WiMAX i LTE (*Long term evolution*). Od njih dvije, najviše se nastavlja razvijati upravo LTE standard. WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) je bežična tehnologija širokopojsnog pristupa temeljena na IEEE 802.16 standardu koja omogućuje brzi bežični prijenos podataka na velikim udaljenostima. Standard 802.16 dizajniran je za dovođenje bežične širokopojsne veze u zgrade od ISP-a (*Internet Service Provider*) ili drugog operatera, nudeći alternativu žičanim T1, kablskim i DSL linijama u zadnjoj milji. Također se može koristiti za pružanje povezivanja velike brzine između Wi-Fi mreža u velikim kampusima, kao i za stvaranje "bežične gradske pristupne mreže" (WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*) u cijelom gradu ili predgrađu. WiMAX je osmišljen kako bi pružio širokopojsni pristup internetu i drugim uslugama na područjima gdje je teško ili skupo provoditi kablsku infrastrukturu. [7]

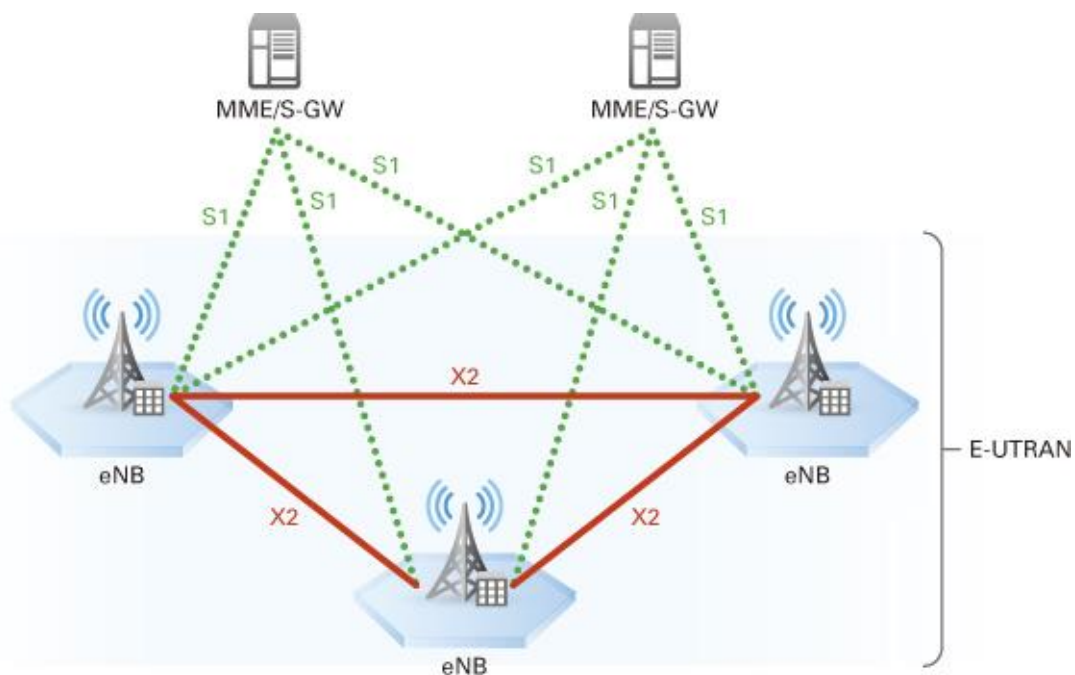
LTE (*Long-Term Evolution*) je bežična tehnologija četvrte generacije (4G) koja se koristi za brzi prijenos podataka u mobilnim mrežama. LTE je zamišljen kao evolucija prethodnih 3G tehnologija i ima za cilj pružiti veće brzine prijenosa podataka, manju latenciju i poboljšano korisničko iskustvo. LTE mreža sastoji se od baznih stanica (eNodeB), koje su postavljene na različitim lokacijama. Svaka bazna stanica ima svoj spektralni kapacitet i može pokrivati određeno geografsko područje. Korisnički uređaji, poput pametnih telefona, tableta i

laptopa, komuniciraju s baznim stanicama kako bi pristupili internetu i drugim uslugama. LTE (*Long-Term Evolution*) tehnologija koristi različite frekvencije elektromagnetskog spektra kako bi prenosila signale. Konkretni frekvencijski opsezi koji se koriste za LTE mogu se razlikovati ovisno o regiji, mobilnom operateru i raspoloživim resursima. [7]

E-UTRAN, što je skraćenica za *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*, ključna je komponenta mobilnog komunikacijskog sustava *Long-Term Evolution* (LTE). Prije svega, odnosi se na radijsku pristupnu mrežu u LTE-u, odgovornu za obradu bežične komunikacije između korisničkih uređaja (kao što su pametni telefoni i tableti) i jezgrene mreže. E-UTRAN je dizajniran kako bi pružio usluge visokih brzina, niske latencije i učinkovite bežične prijenose podataka i glasovnih usluga. [7]

Proces započinje korisničkom opremom (UE – *User Equipment*), što su mobilni uređaji poput pametnih telefona ili tableta koje koristi krajnji korisnik. UE komunicira s E-UTRAN-om putem radijskog sučelja. E-UTRAN koristi metodu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) za *downlink* (od bazne stanice do UE) i *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) za *uplink* (od UE do bazne stanice). Ove modulacijske tehnike pomažu postizanju visokih brzina prijenosa i učinkovite upotrebe dostupnog spektra. [7]

E-UTRAN se sastoji od mreže baznih stanica nazvanih *Evolved Node B* (eNodeB). Svaka eNodeB odgovorna je za upravljanje više UE-ova unutar svojeg pokrivačkog područja. eNodeB-ovi mogu komunicirati međusobno preko X2 sučelja. Ovo sučelje je ključno za funkcije kao što su prijenosi između eNodeB-ova (prijenosi između eNodeB-ova). eNodeB-ovi se povezuju s jezgrenom mrežom putem S1 sučelja. Ovdje se odvija kontrolna signalizacija i razmjena podatkovnog prometa između E-UTRAN-a i komponenti jezgrene mreže, uključujući *Mobility Management Entity* (MME) i *Serving Gateway* (SGW). MME je odgovorna za praćenje lokacije UE-ova, upravljanje registracijom UE-ova i kontrolu postupaka autentifikacije i sigurnosti. SGW djeluje kao sidrište za korisničke podatkovne promete. On usmjerava podatkovne pakete između E-UTRAN-a i vanjskih mreža, kao što su internet ili druge telekomunikacijske mreže.[7]



**Slika 1. E-UTRAN Arhitektura**

Izvor: [https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/what\\_lteenb.html](https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/what_lteenb.html)

Općenito ih možemo podijeliti na tri opsega:

- Nisko-frekvencijski pojas (700 MHz - 900 MHz) pružaju dobar doseg i prodiranje signala kroz zgrade te su često korišteni za pokrivanje ruralnih i prigradskih područja
- Srednje-frekvencijski pojas (1,8 GHz - 2,6 GHz) kombiniraju doseg i kapacitet te se često koriste za pružanje pokrivenosti u urbanim područjima, te za rukovanje velikim prometom podataka
- Visoko-frekvencijski pojas (Iznad 2,6 GHz) omogućuju visok kapacitet za rukovanje velikim prometom podataka u gusto naseljenim urbanim područjima. Međutim, imaju kraće domete propagacije i zahtijevaju više baznih stanica za osiguravanje pokrivenosti

U nekim regijama, LTE također može koristiti dodatne frekvencijske opsege, uključujući one koji su ranije korišteni za starije tehnologije poput 2G i 3G. Također, napredne verzije LTE-a poput *LTE Advanced* i *LTE Advanced Pro* mogu koristiti tehniku kombiniranja nosača (*Carrier Aggregation*) kako bi poboljšale brzine prijenosa podataka i kapacitet. Svaka bazna stanica ima svoj spektralni kanal koji koristi za komunikaciju. Podaci se moduliraju u visokofrekventne signale prije nego što se šalju putem antene. Ova modulacija omogućuje prijenos digitalnih podataka putem elektromagnetskih valova.

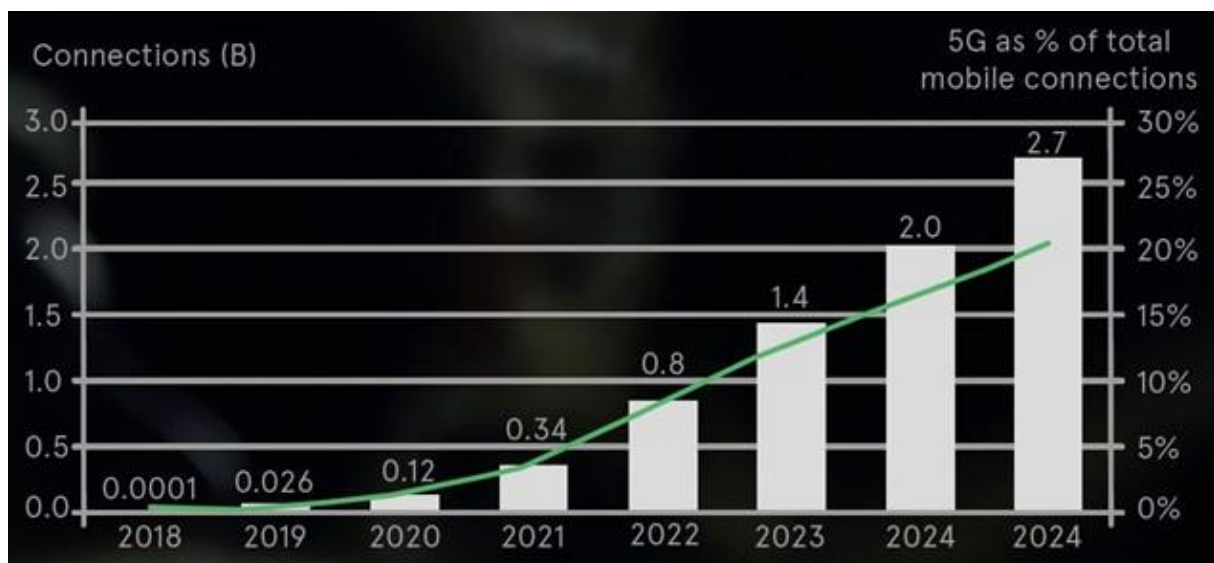


LTE koristi OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) za multipleksiranje signala korisničkih uređaja na različitim frekvencijskim nosačima. Svaki val nosioc ima svoju frekvenciju i prenosi podatke korisnicima. LTE koristi MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) tehnologiju što znači da koristi više antena za istovremeno slanje i primanje signala čime poboljšava kvalitetu signala i brzinu prijenosa podataka. Kada korisnik šalje podatke, oni se moduliraju i prenose putem OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) na određenim frekvencijskim nosačima prema baznoj stanici. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) je tehnika multipleksiranja koja se koristi u bežičnim komunikacijama kako bi se omogućilo više korisnika da istovremeno dijele istu frekvenciju spektra. OFDMA se koristi u tehnologijama poput LTE (*Long-Term Evolution*), WiMAX i Wi-Fi 6. Ova tehnika omogućuje efikasno korištenje dostupnog spektra i prilagodbu resursa prema potrebama različitih korisnika.[7]

4G mreže postale su standard za mobilnu komunikaciju u mnogim dijelovima svijeta, pružajući brzu i pouzdanu povezanost za širok raspon aplikacija. Međutim, kako tehnologija napreduje, fokus se pomiče prema razvoju i širenju 5G mreža kako bi se zadovoljila rastuća potražnja za većim brzinama prijenosa podataka i naprednijim uslugama.

### 3. PETA GENERACIJA MOBILNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE (5G)

Prateći golemi uspjeh prethodnih mobilnih mreža razvila se i trenutno najnovija inačica mobilne mreže – 5G. Glavni razlog razvitka 5G mreže je ponajprije potražnja u društvu. Jednostavno rečeno, prethodne mobilne mreže više nisu mogle pratiti golemu potražnju koja se svakodnevno povećavala.



**Slika 2. Povećanje broja korisnika mobilnih mreža kroz godine**

Izvor: <https://www.ovationwireless.com/how-wireless-technology-went-from-1g-to-5g-in-five-decades/>

Bežična veza pete generacije (5G) najnovija je iteracija mobilne tehnologije, projektirana za značajno povećanje brzine i odziva bežičnih mreža. Uz 5G, podaci koji se prenose putem bežičnih širokopolasnih veza mogu putovati više-gigabitnim brzinama, s potencijalnim vršnim brzinama od čak 20 gigabita u sekundi (Gbps). Te brzine premašuju brzine žičane mreže i nude kašnjenje ispod 5 milisekundi (ms) ili manje, što je korisno za aplikacije koje zahtijevaju povratne informacije u stvarnom vremenu.

5G će omogućiti naglo povećanje količine podataka koji se prenose putem bežičnih sustava zbog veće dostupne propusnosti i napredne antenske tehnologije.

5G mreže i usluge postavljat će se u fazama tijekom sljedećih nekoliko godina kako bi se prilagodilo sve većem oslanjanju na mobilne i internetske uređaje. Općenito, očekuje se da će 5G potencirati razvoj raznih novih aplikacija, upotreba i poslovnih slučajeva kako se tehnologija bude uvodila.[8]

Kako radi 5G?

Bežične mreže sastoje se od stanica podijeljenih u sektore koji šalju podatke putem radio valova. Bežična tehnologija četvrte generacije (4G) *Long-Term Evolution* (LTE) predstavlja temelj za 5G. Za razliku od 4G, koji zahtijeva bazne stanice velike snage za emitiranje signala na veće udaljenosti, 5G bežični signali prenose se kroz veliki broj malih stanica smještenih na mjestima poput rasvjetnih stupova ili krovova zgrada. Korištenje više malih ćelija je neophodno jer spektar milimetarskih valova (mmWave) - opseg spektra između 30 i 300 GHz na koji se 5G oslanja za stvaranje velikih brzina - može putovati samo na kratkim udaljenostima i podložan je smetnje uzrokovane vremenskim prilikama i fizičkim preprekama, poput zgrada ili drveća.[8]



**Slika 3. Područja pokrivanja radio signala**

izvor: <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>

U većini slučajeva, 5G se koristi u sljedećim frekvencijskim pojasevima:

- Visoko-frekvencijski pojas (mmWave) isporučuje najviše frekvencije 5G. Oni se kreću od 24 GHz do približno 100 GHz. Budući da se visoke frekvencije ne mogu lako kretati kroz prepreke, visoko-pojasni 5G po prirodi je kratkog dometa. Štoviše, mmWave pokrivenost je ograničena i zahtijeva više izgrađene infrastrukture
- Srednji frekvencijski pojas obuhvaća frekvencijski pojas između 2 GHz i 6 GHz. Ovi frekvencijski pojasevi pružaju dobar kompromis između brzine i raspona. Koriste se za pružanje veće brzine od niskih frekvencijskih pojaseva, ali s boljim pokrivanjem od visokih frekvencijskih pojaseva

- Nisko-frekvencijski pojas 5G radi ispod 2 GHz i pruža široku pokrivenost. Ovaj pojas koristi spektar koji je dostupan i koji se danas koristi za 4G LTE, u biti pruža LTE 5g arhitekturu za 5G uređaje koji su sada spremni. Izvedba nisko-pojasnog 5G stoga je slična 4G LTE-u i podržava upotrebu za 5G uređaje koji su danas na tržištu.

Zanimljivo je pogledati razliku u brzini/latenciji/kapacitetu mobilnih mreža kroz generacije:

**Tablica 2. Usporedba glavnih karakteristika mobilnih mreža kroz generacije**

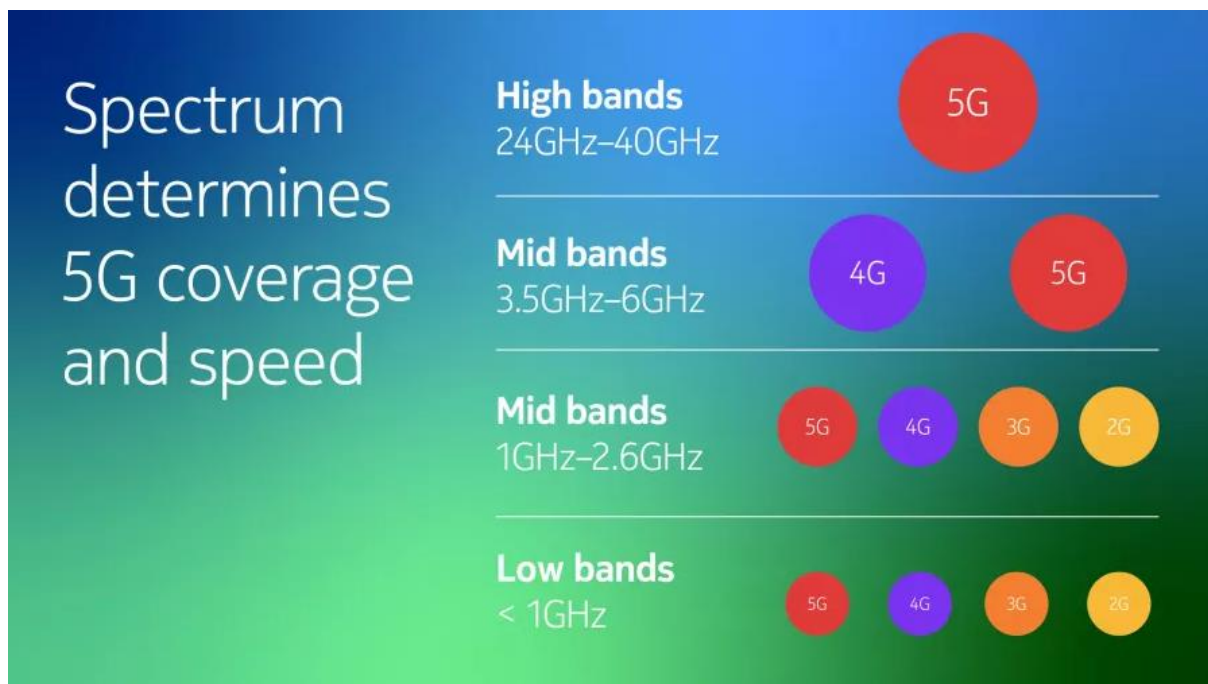
<b>Razlike u brzini:</b>	<b>Razlike u latenciji:</b>	<b>Razlike u kapacitetu:</b>
1G: 2,4 kbps	1G: nije bilo latencije	1G: nije bilo kapaciteta
2G: 64 kbps	2G: 300 ms	2G: do 64 kbps
3G: 2 Mbps	3G: 100 ms	3G: do 2 Mbps
4G: 100 Mbps	4G: 30 ms	4G: do 100 Mbps
<b>5G: do 20 Gbps</b>	<b>5G: manje od 1 ms</b>	<b>5G: do 10 Gbps po kvadratnom kilometru</b>

Izvor: Pripremio student prema izvoru : <https://dhakatutor.com/article/view/188> (08.05.2023.)

Evidentno je da su se razvojem svake nove generacije mobilne mreže brzina i kapacitet povećali dok se latencija eksponencijalno smanjivala

### 3.1. KARAKTERISTIKE 5G MREŽE

5G radi na širokom rasponu frekvencijskih pojaseva, uključujući nisko-frekvencijski pojas, srednji i visoko-frekvencijski pojas (također poznat kao mmWave). Nisko-frekvencijski pojas (ispod 2 GHz) pruža veću pokrivenost, dok visoko-frekvencijski pojas (iznad 24 GHz) nudi veću brzinu prijenosa podataka, ali imaju kraći domet i zahtijevaju više infrastrukture. Koristi se licencirani i nelicencirani spektar. Licencirani spektar dodijeljen je određenim operaterima, dok nelicencirani spektar (kao što je pojas od 5,9 GHz) omogućuje zajedničko korištenje i povećanje kapaciteta.[8]



**Slika 4. Korištenje frekvencijskih pojaseva u različitim GSM mrežama**

izvor: <https://www.nokia.com/thought-leadership/articles/spectrum-bands-5g-world/>

Drugim riječima više spektra, omogućava 5G tehnologiji da radi bolje i kvalitetnije isporučuje usluge u smislu brzine i latencije. To je naravno od presudne važnosti za upotrebu 5G-a u kritičnim aplikacijama nadzora i upravljanja sustavima u stvarnom vremenu, poput industrijske robotike ili upravljanje prometom i autonomnim vozilima. 5G mreže dizajnirane su za pružanje znatno viših brzina prijenosa podataka u usporedbi s prethodnim generacijama. Najveće brzine prijenosa podataka mogu doseći do 20 Gbps za preuzimanja i 1 Gbps za prijenose. Te brzine omogućuju brža preuzimanja, besprijekorno *streamanje* i učinkovit prijenos podataka. Niska latencija neophodna je za aplikacije u stvarnom vremenu, kao što su autonomna vozila, proširena stvarnost i virtualna stvarnost. 5G je dizajniran i za istovremeno rukovanje velikim brojem povezanih uređaja. Nudi veću gustoću veza, podržavajući do milijun uređaja po kvadratnom kilometru. Ova je značajka ključna za široku primjenu uređaja Interneta stvari (IoT), pametnih gradova i industrijske automatizacije, gdje velik broj senzora i uređaja treba međusobno pouzdano komunicirati.

Upotrebljava *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) tehnologiju koja je temeljna komponenta 5G. MIMO tehnologija koristi veliki broj antena na baznim stanicama za poboljšanje mrežnog kapaciteta, pokrivenosti i spektralne učinkovitosti. Masivni MIMO omogućuje bolje prostorno multipleksiranje, oblikovanje snopa i upravljanje smetnjama.

5G tehnologija koristi tehnike oblikovanja snopa za usmjeravanje radijskih signala prema određenim uređajima ili lokacijama. Fokusiranjem signala, oblikovanje snopa poboljšava snagu signala, pokrivenost i ukupnu izvedbu mreže. Ova je tehnologija posebno korisna u visokofrekvencijskim pojasevima poput mmWave.

Za podršku visokim brzinama prijenosa podataka i malom latencijom 5G, potrebne su robusne *backhaul* mreže. Prijenosna mreža, poznata i kao *backhaul network* na engleskom jeziku, je tip satelitske mreže koja služi za povezivanje radijske pristupne mreže s jezgrenom mrežom. Ova mreža se sastoji od različitih komponenti, uključujući optička vlakna, mikrovalove i satelite. Prijenosne mreže imaju ključnu ulogu u povećanju kapaciteta 5G mreža. Međutim, razvoj prijenosnih mreža za male bazne stanice predstavlja značajan izazov za operatere. Veze od optičkih vlakana osiguravaju potrebne veze velikog kapaciteta i niske latencije između baznih stanica i jezgrenih mreža.

5G mreže dizajnirane su za podršku *Internet Protocol* verzije 6 (IPv6) kako bi se prilagodile sve većem broju povezanih uređaja i omogućile *end-to-end* povezivanje za širok raspon IoT(*internet of things*) uređaja. Cilj 5G mreže je biti što energetski učinkovitija u usporedbi s prethodnim generacijama. Različite tehnike, kao što su dinamičko upravljanje napajanjem, načini mirovanja i učinkovito korištenje mrežnih resursa, implementiraju se kako bi se optimizirala potrošnja energije. Važno je napomenuti da dostupnost i implementacija određenih značajki može varirati u različitim regijama i mrežnim implementacijama. 5G se nastavlja razvijati, uz stalna istraživanja i razvoj kako bi dodatno poboljšao svoje mogućnosti i proširio svoju globalnu pokrivenost.

## 4. INTEGRACIJA 5G MREŽE U PROMET

Uvođenjem 5G tehnologija u prijevozna sredstva poput aviona, automobila i brodova dobili smo poboljšanja u vidu sigurnosti i informiranosti putnika. Danas postoji mnoštvo različitih tehnologija koje omogućuju rad 5G mreže u automobilima, međutim bitno je istaknuti činjenicu da većina vozila u svijetu nisu kompatibilna sa 5G tehnologijom pa samim time ne upotrebljavaju 5G tehnologiju tijekom vožnje. Ideja integracije 5G mreže u vozila jest da se pruži kvalitetnije i ugodnije iskustvo putovanja, te stvori „pametno“ prometovanje gradovima bez stvaranja zastoja i zagušenja. Unatoč brojnim poboljšanjima to i dalje nije na toj razini, međutim bitno je istaknuti stavke koje se sve češće koriste u prometu.

### 4.1. UMREŽENA VOZILA

Prvi umrežen automobil komercijaliziran 1996.godine bio je proizveden od tvrtke General Motors i zvao se OnStar. Zamisao je bila da ima mogućnost odašiljanja poziva u pomoć u slučaju nesreće, dijagnostiku vozila, navigaciju i daljinski pristup vozilu. OnStar se oslanjao na mobilnu komunikacijsku tehnologiju kako bi omogućio povezivanje između vozila i servisnog centra OnStar. Sustav je koristio mobilne mreže za prijenos i primanje podataka, omogućavajući komunikaciju u stvarnom vremenu između vozila i OnStar operatera. Međutim, sama veza nije bila toliko inteligentna; samo kanal za protok informacija između vozila i operativnih centara. Upravo radi toga, jedino moguće rješenje je bilo korištenje *Edge computing-a*, *Cloud computing-a* ili neka njihova kombinacija ("hibridno računalstvo"). Vozilo je razgovaralo s poslužiteljem, a glavne, ali ograničene uloge tvrtke za povezivanje bile su isključivo "osigurati da postoji pokrivenost mobilnom mrežom kamo god automobili idu i pobrinuti se da je signal dovoljno jak". Putnici u automobilu bi u slučaju nesreće, pritiskom jednog gumba signalizirali hitnim službama poziv u pomoć i na taj način se skratilo vrijeme potrebno da medicinska pomoć dođe to unesrećenih.[9]

S vremenom je OnStar proširio svoju ponudu usluga i uveo dodatne značajke kao što su daljinski pristup vozilu i mogućnosti Wi-Fi *hotspota* u vozilu. Sustav se nastavio razvijati s napretkom tehnologije, uključujući integraciju aplikacija za pametne telefone za daljinsko upravljanje i nadzor vozila. OnStar je obilježio tzv. „prvu eru“ umreženih vozila koja se nastavila razvijati do danas. Sada, već dovoljnim poboljšanjima u vidu mobilnih usluga ulazimo

u „drugu eru“ umreženih vozila koji imaju mnoštvo sofisticiranih usluga naspram prve ere umreženih vozila.

#### **4.1.1 “DRUGA ERA” UMREŽENIH VOZILA**

Glavna razlika naspram prethodne ere umreženih vozila biti će komunikacija *multipoint-to-multipoint* (Više točaka prema više točaka), koja se može okarakterizirati kao lokalna mreža, mreža za emitiranje ili neka njihova kombinacija. *Multipoint-to-multipoint* umrežavanje omogućuje korisnicima međusobno povezivanje informacija podatkovnog centra na mnogim lokacijama putem zajedničke mreže umjesto izravne veze između pojedinačnih lokacija.[9]

*V2X (Vehicle to everything)* - Takvi sustavi bi omogućili malu latenciju što je temelj mnogih aplikacija, posebno onih povezanih sa sigurnošću. Na primjer, ako kamion pritisne kočnice, sva vozila u tom području bila bi upozorena. Također, moguće bi bilo poslati zvučno upozorenje ako potpuno natovaren kamion izračuna da se ne može zaustaviti na vrijeme. Tehnologija V2X omogućuje automobilima dijeljenje informacija u stvarnom vremenu sa svime, od drugih automobila do pješaka i semafora. To se postiže senzorima, kamerama i bežičnim internetom koji omogućuju povezivanje sa okolnim uređajima i vozilima. Najbitnija infrastruktura za ostvarivanje „druge ere“ umreženih vozila je ponajprije 5G mreža. Izgradnjom 5G infrastrukture diljem svijeta povećava se dostupnost 5G tehnologije a samim time i omogućuje brojnim uređajima poput mobilnih telefona ili zaslona u umreženim automobilima korištenje brzog interneta sa niskom latencijom.[9]

#### **4.2 INTEGRACIJA 5G MREŽE U CESTOVNI PROMET**

Sa sve većim razvojem cestovnog prometa diljem svijeta povećalo se i prometno zagušenje u gusto naseljenim područjima. Ne iznenađuje zato činjenica da se traže načini kako bi se ta prometna zagušenost mogla svesti na minimum. Jedna od istaknutijih tehnologija za poboljšanje regulacije prometa je upravo 5G tehnologija koja svojom velikom brzinom prijenosa podataka i niskom latencijom može pronaći primjenu u brojnim prometnim sustavima.

Kako 5G tehnologija postaje sve dostupnija, potencijal za njezinu upotrebu u poboljšanju sigurnosti na cestama postaje sve jasniji. 5G se koristi za povećanje sigurnosti i smanjenje prometnih nesreća na brojne načine, od umreženih vozila do automatiziranih



prometnih sustava. Vozila povezana 5G mrežom pomažu smanjiti rizik od sudara vozila pružajući vozačima informacije u stvarnom vremenu o stanju na cestama, zastojećima u prometu i opasnim raskrižjima.

5G se također može koristiti za smanjenje prometnih gužvi na prometnim cestama. To se može učiniti putem automatiziranih sustava za upravljanje prometom, koji koriste 5G povezanost za praćenje i prilagođavanje protoka prometa u stvarnom vremenu. Ovi sustavi mogu otkriti nesreće i automatski preusmjeriti promet oko njih, kao i pružiti vozačima upozorenja o zagušenjima i preporuke za rutu kako bi izbjegli kašnjenja. 5G mreže nude niz značajki koje se mogu iskoristiti za poboljšanje učinkovitosti semafora. Na primjer, 5G mreže omogućuju nižu latenciju, što znači da se podaci mogu slati i primiti brže i pouzdanije. To može pomoći semaforima da se brže prilagode prometnim uvjetima, što rezultira smanjenjem gužvi i boljom sigurnošću. Osim toga, 5G mreže mogu podržati veći broj povezanih uređaja, omogućujući im međusobnu komunikaciju u stvarnom vremenu.

5G tehnologija ima potencijal uvelike poboljšati sigurnost u gradovima omogućujući implementaciju specijaliziranih rješenja za “pametne” gradove. Koristeći kombinaciju senzora, kamera, komunikacijskih mreža i umjetne inteligencije, 5G tehnologija bi mogla pomoć gradskim službama pratiti, prikupljati i analizirati podatke o stanju u prometu, te upotrebom tih podataka spriječiti potencijalne probleme koji bi mogli nastati u prometu.

Primjerice, primjenom 5G tehnologije u umreženim automobilima omogućili bi komunikaciju sa drugim vozilima u prometu i na taj način bi mogli dobiti informacije o izvanrednim stanjima u prometu.

Uvođenjem 5G tehnologija u promet moglo bi se značajno poboljšati mnoštvo stavki u prometu koje trenutno nisu najbolje optimizirane u izvanrednim slučajevima poput prometnih nesreća.

#### **4.2.1 PAMETNI SEMAFORI**

Pametni semafor je internetski povezan sustav kontrole prometa vozila koji može prilagoditi kontrole semafora na temelju informacija prikupljenih od senzora, *edge* uređaja i video sustava. Na raskrižju pametni semafori izgledaju isto kao i obični semafori osim dodatnih hardverskih elemenata kao što su IoT senzori i/ili povezane CCTV(*Closed-Circuit Television*) kamere. Na stražnjoj strani, pametni semaforski sustavi povezani su s platformom za upravljanje prometom temeljenom na oblaku. Često ih pokreću prediktivni algoritmi za dinamičko prilagođavanje prometnih signala. Pametni semafori mogu prilagoditi vremenske parametre signala u stvarnom vremenu na temelju uvjeta prometa. Koriste senzore, kamere i

analizu podataka kako bi detektirali gustoću prometa, zagušenja i obrasce, prilagođavajući cikluse signala kako bi smanjili gužve i minimalizirali vrijeme čekanja. Često su dio šire mreže povezanih prometnih sustava. Mogu komunicirati s drugim semaforima, centrima za upravljanje prometom i čak vozilima (putem komunikacije vozilo-s-infrastrukturuom ili V2I) kako bi koordinirali protok prometa. Pametni semafori mogu dati prednost vozilima javnog prijevoza i vozilima hitne pomoći tako da im daju zeleno svjetlo ili prilagode vremenske parametre signala kako bi im pomogli da se kreću kroz promet efikasnije.

Hardverski, pametni semafori se sastoje od:

**1) Modula povezivanja** — Wi-Fi, 4G/5G, V2X, GPS

Moderni semafori moraju biti sposobni prikupljati i razmjenjivati podatke s povezanim automobilima, računalima u vozilima, telematskim sustavima, prometnim platformama temeljenim na oblaku i mobilnim aplikacijama za putovanja ili vožnju.

**2) Senzora:** Radar/LiDAR, Detekcija brzine, Vremenski senzori, Senzori za detektiranje štetnih emisija

**3) Povezanih kamera s mogućnostima otkrivanja prometa u stvarnom vremenu:**

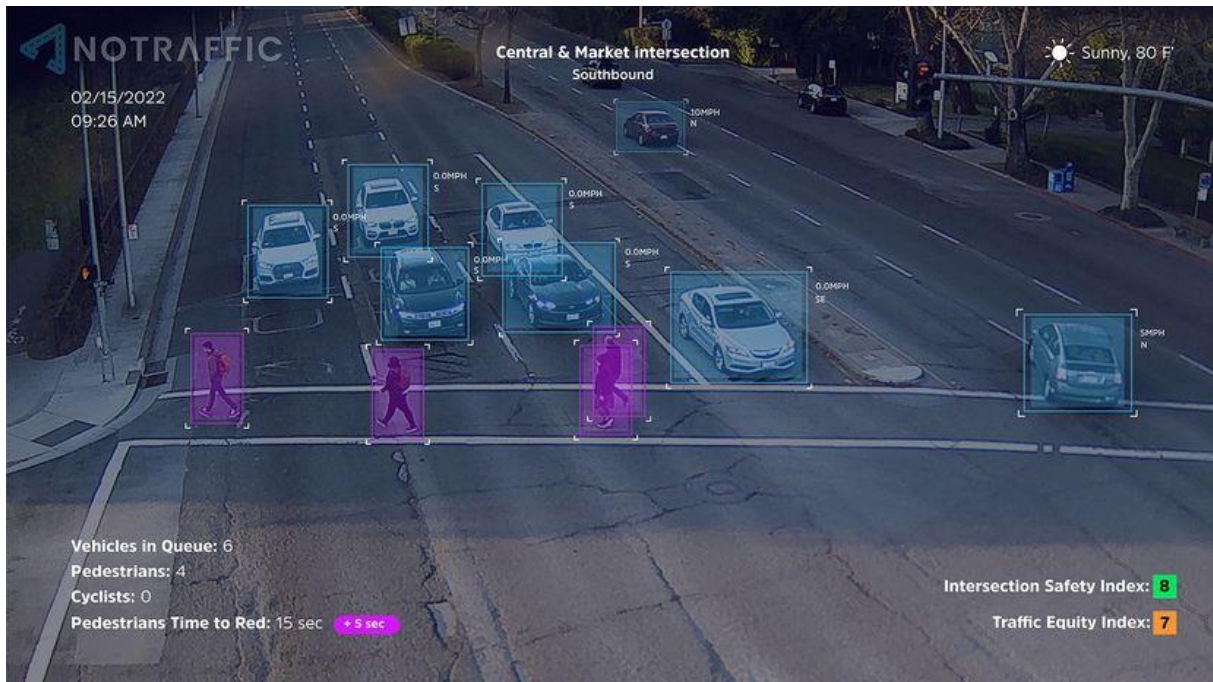
Praćenje vozila koji prolaze kroz crveno svjetlo, Detekcija pješaka i prometa, Detekcija zagušenja prometa, Otkrivanje nesreća

**4) Ugrađenog računala** - Dinamički pametni signali zahtijevaju *edge device* s dovoljnom procesorskom snagom za prethodnu obradu snimljenih prometnih podataka i izvršavanje prilagodljivih kontrola.

*edge device* (rubni uređaj) je bilo koji dio hardvera koji kontrolira protok podataka na granici između dviju mreža. Rubni uređaji ispunjavaju različite uloge, ovisno o vrsti uređaja, ali oni u biti služe kao ulazne ili izlazne točke mreže. Neke uobičajene funkcije rubnih uređaja su prijenos, usmjeravanje, obrada, nadzor, filtriranje, prevođenje i pohranjivanje podataka koji prolaze između mreža. Rubne uređaje koriste poduzeća i pružatelji usluga. [10]

Softverski, Pametni semafor obuhvaća specifične programske komponente i algoritme koji omogućuju pametnim semaforima da prate i upravljaju prometom na temelju stvarnih uvjeta i potreba. Koriste algoritme za prilagodljivo upravljanje prometom koji analiziraju podatke o prometu dobivene putem senzora, kamere i drugih izvora te prilagođavaju vremenske

parametre semafora u stvarnom vremenu kako bi se optimizirao protok prometa i smanjila gužva.



**Slika 4. Sustav pametnih semafora – pregled stanja u stvarnom vremenu**

Izvor: <https://science.howstuffworks.com/engineering/civil/smart-traffic-lights-news.htm>

Na slici možemo vidjeti kako sustav pametnih semafora pomoću kamera i senzora detektira relevantne sudionike u prometu i na temelju tih podataka optimizira protok prometa. Uzima u obzir brzinu kretanja svakog sudionika u prometu, te na temelju te brzine zaključuje koliko će tom sudioniku u prometu biti potrebno vremena za sigurno prolaženje kroz raskrižje.

#### 4.2.2. PAMETNA RASKRIŽJA

Pametno raskrižje je prilagodljivo rješenje za upravljanje prometom za izolirano raskrižje i osmišljeno je za mjerenje razine usluge na pojedinačnom raskrižju i procjenu optimalne duljine ciklusa i trajanja zelenog svijetla kako bi se smanjila ukupna kašnjenja, broj zaustavljanja, zagađenje i potrošnja goriva. Ova raskrižja koriste različite senzore, komunikacijske sustave i analitiku podataka kako bi poboljšali protok vozila, pješaka i drugih sudionika u prometu. Ti podaci se razmjenjuju primjenom 4G LTE, Wi-Fi, Optičke infrastrukture ili 5G mreže. [11]

Pametna raskrižja mogu koristiti različite komunikacijske tehnologije, uključujući 5G, ovisno o specifičnoj implementaciji i ciljevima projekta pametnog raskrižja. 5G omogućuje prikupljanje i prijenos podataka u stvarnom vremenu iz različitih izvora, uključujući senzore, kamere i umrežena vozila. Sustavi za upravljanje prometom mogu pristupiti najnovijim informacijama o stanju u prometu, nesrećama i zatvorenim cestama, omogućujući brže donošenje odluka. Primjenom vrlo niske latencije možemo optimizirati signalizaciju semafora da ima što manje “mrtvog” vremena.

Cilj pametnog raskrižja je održati optimalnu raspodjelu trajanja zelenog svjetla i smanjiti ili povećati duljinu ciklusa u skladu s prevladavajućim razinama prometne potražnje. To znači da je neučinkovito trajanje zelenog svjetla minimalizirano i da se sustav prilagođava prometnoj situaciji. Odabir između 5G i optičke tehnologije ovisi o konkretnom slučaju upotrebe, zahtjevima i ciljevima određene aplikacije. Obje tehnologije imaju svoje snage i slabosti, a odluka bi se trebala temeljiti na faktorima kao što su brzina podataka, latencija, pokrivenost, pouzdanost, skalabilnost i cijena.

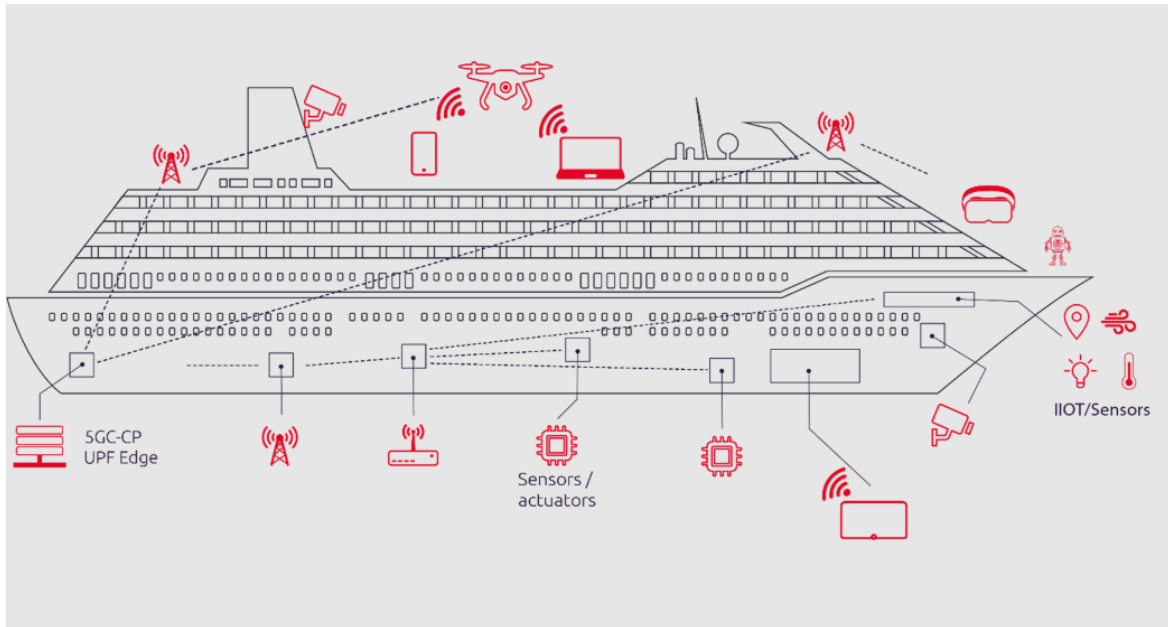
#### **4.3 PRIMJENA 5G TEHNOLOGIJA NA PUTNIČKIM BRODOVIMA**

Posada i putnici na kruzaru očekuju kontinuirani pristup pristupačnim, visokokvalitetnim internetskim uslugama dok su na brodu. Ali komunikacijska mreža na tipičnom brodu za krstarenje složen je sustav koji integrira više vrsta infrastrukture kako bi zadovoljio potrebe broda, njegove posade i gostiju. [12]

Najčešća izvedba brodske internetske mreže je zasnovana na mrežnoj infrastrukturi koja je augmentirana pomoću WiFi i privatnih mobilnih mreža poput 4G, LTE ili 5G mreže. Često nepredvidiva priroda putovanja broda za krstarenje znači da se mreža mora stalno prilagođavati promjenjivim uvjetima, odabirući najprikladnije mogućnosti povezivanja za pružanje pouzdanog i brzog pristupa internetu i podržavanje aplikacija na brodu.

Optimiziranje *backhaul* povezanosti ključno je za pružanje željenog pristupa internetu. Kako bi se to riješilo dok je brod na moru, brodska mreža se oslanja na različite vrste satelita, kao što su geostacionarni (GEO), sateliti srednje Zemljine orbite (MEO) i sateliti niske Zemljine orbite (LEO). Satelitska komunikacija omogućuje pristup internetu, glasovnim pozivima, SMS-ovima i drugim komunikacijskim uslugama. Eventualno, kada je brod u luci ili blizu obalnih područja, može koristiti zemaljske javne mobilne i lučke WiFi mreže za pružanje kvalitetnije internetske veze.

Izazov proizlazi iz nedostatka dostupnih optičkih mreža u mnogim područjima, što je neophodno za postizanje mreže s niskom latencijom i visokim brzinama prijenosa podataka. [12]



**Slika 4. Prikaz povezanosti uređaja na putničkom brodu**

izvor: <https://www.capgemini.com/insights/expert-perspectives/5g-private-networks-for-intelligent-and-connected-cruise-ships/>

Privatna mobilna mreža temeljena na 5G može proširiti postojeću WiFi i žičanu infrastrukturu, te omogućavanjem modernih aplikacija koje zahtijevaju visoku propusnost, nisku latenciju i veću gustoću veze, stvoriti bolje umrežen brod. Mnoštvo novih aplikacija, temeljenih na privatnoj 5G mreži i s poboljšanim *backhaul* internetskim propusnim vezama, može pomoći u smanjenju operativnih troškova za vlasnike broda, poboljšati iskustva gostiju i generirati prihod putem aplikacija. [12]

Prednosti uporabe 5G mreže na putničkim brodovima:

Privatne 5G mreže mogu omogućiti daljinsko praćenje i održavanje kritičnih sustava broda, omogućujući tvrtkama za krstarenje brže i učinkovitije dijagnosticiranje i rješavanje problema, smanjujući vrijeme zastoja i povezane troškove održavanja te poboljšavajući ukupnu izvedbu. A putem sigurnog povezivanja, prikupljanja podataka u stvarnom vremenu i automatiziranih kontrola, 5G privatna mreža može se upotrijebiti za optimizaciju potrošnje energije u brodskoj rasvjeti i HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) sustavima.

Privatna 5G mreža s *Edge computing*-om može poboljšati učinkovitost aplikacija za videonadzor visoke razlučivosti u stvarnom vremenu, pomažući u stvaranju sigurnijeg i sigurnijeg okruženja na brodu za putnike i posadu.[12]

Privatna mreža je mobilna mreža koja može ponuditi veliku propusnost potrebnu za omogućavanje live *streaminga* nastupa, igara i zabave na brodu za tisuće gostiju. One su u biti zatvorene mreže koje su raspoređene na određenim mjestima na brodu. Postoji nekoliko različitih pristupa za omogućavanje povezanosti na moru. Na primjer, jedan je omogućiti daljinsko povezivanje putem satelita i omogućiti lokalnim uređajima da se povežu na neki oblik usmjerivača (*routera*). Obično kod takvog interneta imamo ograničen broj ljudi koji se može spojiti na njega i ograničen promet podataka koji se može napraviti sa svakog uređaja. Danas mnoge privatne mreže na moru rade pomoću mobilnih tehnologija temeljenih na 3GPP-u. To znači da mogu koristiti 2G, 3G, 4G ili 5G radijski pristup, baš kao u javnim (onim što nazivamo "makro") mobilnim mrežama. 3GPP je organizacija koja propisuje standarde za mobilne komunikacijske usluge. 3GPP specifikacije pokrivaju mobilne telekomunikacijske tehnologije, uključujući radijski pristup, jezgrenu mrežu i mogućnosti usluga, koje pružaju potpuni opis sustava za mobilne telekomunikacije. Posljedično, uređaji koji mogu raditi na javnim mrežama poput mobilnog telefona mogu, u teoriji, raditi na privatnoj 3GPP mreži, pod uvjetom da su opremljeni SIM karticama. [12]

#### **4.4 INTEGRACIJA 5G TEHNOLOGIJA NA ZRAKOPLOVIMA**

Dugi niz godina bilo je zabranjeno korištenje mobilnih tehnologija u zračnom prometu prvenstveno zbog tehničkih razloga. Piloti se oslanjaju na sustave automatizacije aviona, posebno u lošim vremenskim uvjetima, jer im očitavanja visine daju do znanja kada se trebaju pripremiti za slijetanje. Radari za visinu, koji se nazivaju altometri, koriste radijske frekvencije slične onima koje šalju mobilne mreže kako bi dobili svoja očitavanja. To bi moglo uzrokovati potencijalne smetnje i lažne rezultate (barem u teoriji), pa su zrakoplovne tvrtke morale zabraniti korištenje telefona u zrakoplovima - osim ako nisu u zrakoplovnom načinu rada. Unatoč tome koliko dugo je zabrana telefoniranja na snazi u svim zrakoplovnim prijevoznicima, još uvijek imamo vrlo malo dokaza koji bi potvrdili da telefoni stvarno ometaju zrakoplove. Mnogi stručnjaci za zrakoplovstvo tvrde da nam ne bi bilo dopušteno uopće unositi mobilne uređaje na zrakoplove ukoliko su oni stvarno štetni za let. Vrlo je vjerojatno da su te mjere napravljene upravo iz predostrožnosti. [13]

Europska unija je donijela niz odluka po kojima se uklanja zabrana korištenja mobilnih uređaja na zrakoplovima. Ta odluka je donesena iz razloga što se radiofrekvencije 5G mreže i radiofrekvencije navigacijske opreme zrakoplova ne preklapaju unutar EU zračnog prostora. Kako bi se provela nova odluka, europski će zrakoplovni prijevoznici svoje zrakoplove opremiti pikoćelijama. To su u biti male mobilne bazne stanice koje šalju i primaju signale male snage kratkog dometa. Pikoćelije se povezuju sa satelitskim mrežama ili stanicama mobilne mreže, što zatim omogućuje daljnju komunikaciju na vašem telefonu te omogućuje jednostavno telefoniranje i razmjenu podataka. Na kopnu, 5G se nalazi na radio-frekvencijskom pojasu od 3,4-3,8 GHz, dok se avionska tehnologija oslanja na frekvencije od 4,2-4,4 GHz. Međutim, stanične pikoćelije u zrakoplovima vjerojatno će raditi na nižim frekvencijama (Manjim od 3,8GHz). To znači da nema smetnji s očitavanjem visine na altimetru ili drugim zrakoplovnim sustavima. [13]

Trenutno je upotreba 5G tehnologija u avionima moguća samo unutar zračnog prostora Europske Unije. Ukoliko se dokaže da stvarno nema nikakvih loših utjecaja na zrakoplovne sustave lako moguće da tu odluku donesu i ostale države svijeta.

## 5. PROBLEM INFRASTRUKTURE U 5G MREŽAMA

Implementacija 5G-a u upravljanju prometom zahtijeva značajne nadogradnje infrastrukture, uključujući instalaciju novih baznih stanica, malih ćelija i mreža optičkih vlakana. To može biti složen i skup proces, posebno u područjima s ograničenom postojećom infrastrukturom. Potrebno je osigurati odgovarajuću pokrivenost i kapacitet 5G mreža u urbanim, prigradskim i ruralnim područjima gdje je to još uvijek veliki izazov. Gusta urbana okruženja mogu zahtijevati veću gustoću malih baznih stanica kako bi se osigurala besprijeekorna povezanost. 5G mreže zahtijevaju *backhaul* veze velikog kapaciteta za rukovanje povećanim podatkovnim prometom. Implementacija optičkih kabela ili drugih rješenja za *backhaul* velike brzine može biti izazovna u određenim područjima.[15]

Dio infrastrukture potrebne za 5G već postoji, poput makroćelija koje se već koriste kao telekomunikacijska infrastruktura. Kako bi smo omogućili 5G tehnologiju, moramo dodati tehnologiju malih ćelija u gusto naseljenim područjima, što će povećati kapacitet mreže. Zahtjevi za 5G mrežnu infrastrukturu uključuju mmWave frekvencije koje mogu pokriti samo male udaljenosti. Posljedično, potrebna nam je ultra-gusta mreža. Male bazne stanice, poznate i kao mikroćelije ili pikoćelije, postavljaju se na različitim lokacijama kako bi poboljšale pokrivenost i kapacitet bežičnih mobilnih mreža. Male bazne stanice često se postavljaju u gradskim sredinama gdje je velika potražnja za bežičnom komunikacijom. Možemo ih postavljati na stupove javne rasvjete, zgrade, semafore ili neke druge visoke objekte kako bi se poboljšala pokrivenost i kapacitet mreže, ali kako bi se nadoknadila ograničenja dometa potrebno je postaviti i više antena za posluživanje određenog područja. Proširenje 5G mreže uvelike ovisi o mogućnosti instaliranja malih ćelijskih baznih stanica. Male ćelije 5G mreža moraju podržavati stotine gigabita prometa iz jezgrene mreže kroz *backhaul* i trenutnu tehnologiju mobilnog sustava. Optička infrastruktura je zamijenila bakrenu infrastrukturu u mnogim 4G instalacijama i idealna je za 5G *backhaul* – posebno s obzirom na brzinu povezivanja od 20 Gbps i maksimalno kašnjenje do 1 ms. Poanta je da se mora postaviti više optičkih kablova što znači vrlo visoki troškovi polaganja kablova koji uz sebe imaju još dodatne troškove. Osim visokih cijena, polaganje optičkih kablova može potrajati nekoliko mjeseci, a čak ni tada postavljanje optičke infrastrukture nije uvijek moguće jer ovisi o lokaciji svake male ćelije što znači da će se morati proširiti bežična mreža. Rad mmWave tehnologije je otežan pod lošim vremenskim uvjetima poput kiše. [15]



## 5.1 PREDNOSTI I NEDOSTACI UPOTREBE 5G MREŽE U PROMETU

Kada govorimo o korisnosti upotrebe 5G mreže to je ponajprije velika brzina prijenosa podataka i niska latencija. Upotrebom 5G tehnologije možemo bežično pokriti raskrižja u slučajevima gdje nije moguće razviti žičanu infrastrukturu. Također, ima veliki kapacitet pa omogućuje velik broj istovremenih korisnika što je povoljno za upotrebu na putničkim brodovima i visoko napučenim područjima. Čak i ako ste u automobilu koji se kreće velikom brzinom, 5G će moći pratiti i ostati povezan ukoliko je infrastruktura dovoljno izgrađena.[3]

### Glavne prednosti 5G mreže su:

- Brzina prijenosa podataka
- Mala latencija
- Veliki kapacitet

5G se oslanja na signalne odašiljače i stoga se suočava s mnogim istim problemima kao i 4G. Što je najvažnije, signalni tornjevi imaju ograničenu pokrivenost i mogu biti blokirani preprekama poput zgrada ili drveća. 5G je još uvijek tehnologija u razvoju. Iako 5G usluga počinje postajati dostupna u nekim područjima, trebat će nekoliko godina da se pokrivenost dovede do svih. Budući da je ova tehnologija još uvijek relativno nova i u razvoju, mogla bi postojati i nepredviđena ograničenja koja još nisu vidljiva. Žičana optička infrastruktura je još uvijek pouzdanija od 5G mreže samim time što je manje podložna interferencijama. Zahtjeva više baznih stanica u odnosu na svoje prethodnike (3G,4G). [3]

### Glavni nedostaci 5G mreže:

- Ovisnost o infrastrukturi
- Razvojni ciklus nije završen
- Podložnost interferencijama

## 5.2. POBOLJŠANJA KOJA ĆE UČINITI 5G TEHNOLOGIJU DOSTUPNIJOM

Kada govorimo o potencijalnim poboljšanjima nad trenutnom 5G mrežom najbitnija stavka bi zasigurno bila da se treba proširiti cijela infrastruktura eksponencijalno kako bi se pokrivenost dovela na globalnu razinu. Veliki gradovi imaju jako velik problem zbog previše istovremenih korisnika pa bi bilo jako poželjno u takvim područjima postaviti više manjih baznih stanica kako bi se rasteretila cijela mreža. 5G mreže zahtijevaju gušću infrastrukturu u usporedbi s prethodnim generacijama zbog upotrebe viših frekvencijskih pojaseva. Kao rezultat toga, postizanje široke pokrivenosti, osobito u ruralnim ili udaljenim područjima, može biti izazovno i skupo. Izgradnja potrebne infrastrukture i širenje pokrivenosti je postupan proces.[14]

Iako su brzine 5G već znatno veće od 4G, očekuje se da će se dalje povećavati kako se tehnologija razvija. Smanjenje latencije na još niže razine omogućilo bi stvarno-vremenske aplikacije poput telemetrije, AR (*Augmented Reality*) i VR (*Virtual Reality*). Iako 5G obećava veliki kapacitet, daljnji tehnološki razvoj mogao bi povećati ukupni kapacitet mreže kako bi se omogućila istodobna povezanost velikog broja uređaja i aplikacija. Kada govorimo o energetske učinkovitosti razvoj energetski učinkovitih uređaja i infrastrukture važan je kako bi se smanjila potrošnja energije u 5G mrežama, s obzirom na veliku gustoću potrebne infrastrukture.

Kontinuirana optimizacija mrežne infrastrukture i protokola mogla bi povećati pouzdanost 5G mreža. To je ključno za kritične primjene kao što su telemedicina ili industrijska automatizacija.

## 6. ZAKLJUČAK

Implementacija 5G tehnologije u upravljanju prometom predstavlja značajan korak naprijed u našim naporima da stvorimo sigurnije, učinkovitije i održivije prometne sustave. Potencijalne koristi 5G-a u prometu su razne, budući da omogućuje bržu i pouzdaniju komunikaciju između vozila, infrastrukture i sustava za upravljanje prometom. S ultra-niskom latencijom i visokim brzinama prijenosa podataka, 5G može poboljšati donošenje odluka u stvarnom vremenu, što dovodi do smanjenja prometnih gužvi, poboljšane sigurnosti na cestama i smanjenja udjela štetnih emisija.

Osim toga, implementacija 5G mreža u prometu otvara vrata inovativnim aplikacijama, poput autonomnih vozila, povezanih raskrižja i pametnih semafora. Ove tehnologije imaju potencijal da revolucioniraju naše prometne sustave čineći ih prilagodljivijim i osjetljivijim na promjenjive uvjete. Međutim, važno je priznati da široka upotreba 5G tehnologije u prometu nosi i svoje izazove. Sigurnosni problemi, troškovi infrastrukture i regulatorni problemi moraju biti pažljivo rješavani kako bi se osiguralo sigurno i odgovorno implementiranje ove tehnologije. Također, mogu postojati zabrinutosti u vezi s digitalnim jazom, budući da neke regije ili zajednice možda nemaju jednaki pristup 5G mrežama.

Zaključno, 5G tehnologija nosi veliko obećanje za transformaciju načina na koji upravljamo prometom, čineći naše ceste sigurnijima i učinkovitijima. Kako bismo u potpunosti ostvarili ove koristi, ključno je nastaviti ulagati u istraživanje, razvoj infrastrukture i regulatorne okvire koji podržavaju odgovorno i pravedno implementiranje 5G tehnologije u upravljanju prometom. Na taj način možemo otvoriti put budućnosti u kojoj će naši prometni sustavi biti ne samo brži i pouzdaniji, već i održivi i inkluzivni.

## LITERATURA

- [1] Rajiv, “Evolution of wireless technologies 1G to 5G in mobile communication”, 23.7.2023., dostupno online: <https://www.rfpage.com/evolution-of-wireless-technologies-1g-to-5g-in-mobile-communication/> (preuzeto 21.09.2023)
- [2] Agrawal, J., Patel R., Mor,P., Dubey,P., Keller,J.M., “Evolution of Mobile Communication Network: from 1G to 4G”, International Journal of Multidisciplinary and Current Research, R.D.V.V. Univ., 28.10.2015, Vol.3 (Nov/Dec 2015 issue),p. 1-4, dostupno online: <http://ijmcr.com/wp-content/uploads/2015/11/Paper11100-1103.pdf> (preuzeto 21.09.2023)
- [3] Rancho Labs, “History of Mobiles From 1G to 5G”, 29. Svibnja 2021.,Dostupno na: <https://rancholabs.medium.com/history-of-mobiles-from-1g-to-5g-ce124c186ae0> (preuzeto 21.09.2023)
- [4] Appleby,M., Harrison,F., „Telecommunications Engineer's Reference Book“, 1993 Dostupno online: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/advanced-mobile-phone-system> (preuzeto 21.09.2023)
- [5] Awati,R., “Time Division Multiple Access”, Preuzeto 21.09.2023., dostupno online: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/TDMA> (preuzeto 21.09.2023)
- [6] Takahashi,I., Hiromitsu,W., “Communications Satellite Systems“ Encyclopedia of Physical Science and Technology(3rd edition), 2003, dostupno online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B0122274105008826> (preuzeto 21.09.2023)
- [7] Goldsmith,A., „Wireless Communications“, Cambridge, 2005, dostupno online: [https://fa.ee.sut.ac.ir/Downloads/AcademicStaff/1/Courses/7/Andrea%20Goldsmith-Wireless%20Communications-Cambridge%20University%20Press%20\(2005\).pdf](https://fa.ee.sut.ac.ir/Downloads/AcademicStaff/1/Courses/7/Andrea%20Goldsmith-Wireless%20Communications-Cambridge%20University%20Press%20(2005).pdf)(preuzeto 21.09.2023)
- [8] Remmert, H., “What Is 5G Network Architecture?”,19.03.2021., dostupno online: <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture> (preuzeto 21.09.2023)
- [9] Tengler,R., “The Role Of The Connection In The Second Era Of The Connected Car”, Forbes, 13.1.2022., dostupno online: <https://www.forbes.com/sites/stevetengler/2022/01/13/the-role-of-the-connection-in-the-second-era-of-the-connected-car/> (preuzeto 21.09.2023)

- [10] Volodymyr, Z., “How Do Smart Traffic Lights Work? Technical Architecture and Use Cases Explained”, 28.8.2023., dostupno online: <https://intellias.com/smart-traffic-signals/> (preuzeto 21.09.2023)
- [11] Frackiewicz, M., “The role of 5G in reducing traffic accidents”, 21.04.2023., dostupno online: <https://ts2.space/en/the-role-of-5g-in-reducing-traffic-accidents/#:~:text=By%20using%20sensors%2C%205G%20networks,the%20roadways%20and%20improving%20safety.> (preuzeto 21.09.2023)
- [12] Nambiar, P., Nicholas, J.P., “5G Private networks for intelligent and connected cruise ships”, 07.06.2023., dostupno online: <https://www.capgemini.com/insights/expert-perspectives/5g-private-networks-for-intelligent-and-connected-cruise-ships/> (preuzeto 21.09.2023)
- [13] Olech, J., “The EU Wants 5G Phones on Airplanes — Will the US Follow Suit?”, 02/01/2023, <https://www.privateinternetaccess.com/blog/5g-phones-on-airplanes/#:~:text=Can%205G%20phones%20work%20on,use%20online%20features%20with%20ease.> (preuzeto 21.09.2023)
- [14] Taheribakhsh, M., Jafari, A., Peiro, M.M., Kazemifard, N., “5G Implementation: Major Issues and Challenges”, CSICC, Iran, Siječanj 2020, dostupno online: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9050110> (preuzeto 21.09.2023)
- [15] Simmons, A., „Small Cells: Microcell, Picocell and Femtocell Comparison“, 20.9.2022., dostupno online: <https://dgtlinfra.com/small-cells-microcell-picocell-femtocell/> (preuzeto 22.9.2023)