

# Proračun jakosti električnog polja na različita frekvencijska područja zračenja 5G mreže pri upotrebi V2X tehnologije

---

Marković, Marino

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:869216>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Marino Marković**

**PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA  
FREKVENCIJSKA PODRUČJA ZRAČENJA 5G MREŽE PRI  
UPOTREBI V2X TEHNOLOGIJE**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

**PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA  
FREKVENCIJSKA PODRUČJA ZRAČENJA 5G MREŽE PRI  
UPOTREBI V2X TEHNOLOGIJE**

**CALCULATION OF ELECTRIC FIELD STRENGTH FOR DIFFERENT  
FREQUENCY BANDS OF 5G NETWORK WHEN USING V2X  
TECHNOLOGY**

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Marino Marković

JMBAG: 0135229387

Zagreb, rujan 2020.

Zagreb, 8. svibnja 2020.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**  
Predmet: **Lokacijski i navigacijski sustavi**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6023

Pristupnik: **Marino Marković (0135229387)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Proračun jakosti električnog polja na različita frekventijska područja zračenja 5G mreže pri upotrebi V2X tehnologije**

Opis zadatka:

Detaljno opisati mogućnosti uporabe 5G mreže u pogledu mogućnosti lociranja korisnika te integracije sa satelitskim navigacijskim sustavima. Navesti i opisati standarde tehnologije V2X te načine povezivanja vozila i infrastrukture uporabom 5G mreže. Proučiti i obrazložiti međunarodne standarde i preporuke za ograničenje razine elektromagnetskog zračenja. Opisati metodologiju izračuna jakosti elektromagnetskog zračenja u blizini baznih postaja. Izraditi aplikacijsko rješenje za računanje jakosti električnog polja na proizvoljnom mjestu u odnosu na baznu postaju pri uporabi tehnologije V2X.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



# PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA FREKVENCIJSKA PODRUČJA ZRAČENJA 5G MREŽE PRI UPOTREBI V2X TEHNOLOGIJE

## SAŽETAK

Uvođenje 5G mreže omogućiti će korisnicima brži prijenos veće količine podataka te će unaprijediti već postojeće tehnologije. Jedna od tehnologija na koju će uvođenje 5G mreže imati veliki utjecaj jest tehnologija V2X. Ovakav napredak u tehnologiji sa sobom nosi i određene implikacije. Kako bi tehnologija imala pozitivnu konotaciju na svakodnevni život ljudi, uvedene su određene mjere i preporuke za zaštitu zdravlja od negativnih utjecaja elektromagnetskog polja. U ovom radu istražena je jakost električnog polja pri upotrebi 5G mreže i tehnologije V2X. Analizirani su iznosi jakosti električnog polja na različitim frekvencijama i udaljenostima od bazne stanice uz Matlab programsko rješenje. Primjenom formula i implementacijom aplikativnog rješenja utvrđeni su spomenuti iznosi jakosti električnog polja.

**Ključne riječi:** 5G; V2X; Globalni navigacijski satelitski sustavi; jakost električnog polja

# **CALCULATION OF ELECTRIC FIELD STRENGTH FOR DIFFERENT FREQUENCY BANDS OF 5G NETWORK WHEN USING V2X TECHNOLOGY**

## **SUMMARY**

The introduction of the 5G network will enable users to transfer larger amounts of data faster and will improve existing technologies. One of the technologies that will be greatly affected by the introduction of the 5G network is V2X technology. This advancement in technology carries certain implications. For technology to have a positive connotation on people's everyday life, certain measures and recommendations have been introduced to protect health from the negative effects of the electromagnetic field. In this paper, the electric field strength while using 5G network and V2X technology is researched. The sum of electric field strength at different frequencies and distances from the base station were analyzed with the Matlab software solution. The mentioned sum of electric field strength was determined by applying the formulas and implementing an application solution.

**Keywords:** 5G; V2X; Global navigation satellite system; Electric field strength

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. ODREĐIVANJE LOKACIJE KORIŠTENJEM 5G TEHNOLOGIJE I NAVIGACIJSKIH SUSTAVA</b> .....	3
2.1. NAVIGACIJSKI SUSTAVI .....	4
2.1.1. NAVSTAR GPS .....	6
2.1.2. GLONASS .....	13
2.1.3. GALILEO .....	15
2.1.4. BEIDOU .....	17
2.2. 5G MREŽA .....	18
2.2.1. LOKACIJA I 5G MREŽA.....	21
<b>3. STANDARDIZACIJA TEHNOLOGIJE V2X I NAČINI POVEZIVANJA VOZILA PUTEM 5G MREŽE</b> .....	23
<b>4. MEĐUNARODNA PREPORUKA ZA OGRANIČENJE RAZINE ELEKTROMAGNETSKIH POLJA</b> .....	28
<b>5. METODOLOGIJA IZRAČUNA JAKOSTI ELEKTRIČNIH POLJA</b> .....	36
<b>6. PROGRAM ZA IZRAČUN JAKOSTI POLJA OKO BAZNE STANICE PRI KORIŠTENJU TEHNOLOGIJE V2X</b> .....	39
6.1. IZRAČUNI JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA FREKVENCIJSKA PODRUČJA .....	41
6.2. IZRAČUNI JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA FREKVENCIJSKA PODRUČJA S DIELEKTRIKOM.....	43
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	46
<b>Popis literature</b> .....	47
<b>Popis ilustracija</b> .....	50
<b>Popis tablica</b> .....	50
<b>Prilog 1</b> .....	52

# 1. UVOD

S obzirom na to da u današnjem svijetu pojedinac ima pristup svim informacijama gdje god da je pozicioniran u svijetu, tehnologija je zauzela jedno od važnijih pozicija u svakodnevnom životu ljudi. Određivanje lokacije veoma je bitno, bez obzira radi li se o poslovnom ili privatnom aspektu. Isto tako, s velikim napretkom čovječanstva, neizbježno se javlja zahtjev za konstantnim unaprjeđenjem postojećih tehnologija. Mreža pete generacije dizajnirana je za najveću moguću razinu energetske efikasnosti, a omogućava prijenos više podataka u kraćem roku u usporedbi s prethodnim mobilnim mrežama. Ukoliko se govori o utvrđivanju lokacije, 5G mreža također uvelike utječe na dosadašnja iskustva u tom polju. S obzirom na to da je vijest o implementaciji 5G mreže odjeknula diljem svijeta, javila se i zabrinutost oko optimalnog planiranja i uvođenja 5G baznih stanica i ograničenja na razinu električnog polja.

Svrha ovog istraživanja je detaljno objasniti načine određivanja lokacije i primjene na navigacijske sustave koji dolaze s implementacijom 5G mreže. Nadalje, u ovom radu cilj je pobliže objasniti i tehnologiju V2X, te utvrditi ima li navedena tehnologija utjecaj na povećanje jakosti električnog polja.

Cilj istraživanja ovog rada jest izračunati jakost električnog polja 5G mreže pri korištenju tehnologija V2X pomoću programa Matlab.

Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Određivanje lokacije korištenjem 5G tehnologije i navigacijskih sustava
3. Standardizacija V2X tehnologije i načini povezivanja vozila putem 5G mreže
4. Međunarodna preporuka za ograničenje razine elektromagnetskih polja
5. Metodologija izračuna jakosti električnih polja u blizini baznih postaja
6. Program za izračun jakosti polja oko bazne stanice pri korištenju V2X tehnologije
7. Zaključak.

U drugom poglavlju navedeni su i detaljnije opisani globalni navigacijski sustavi te način na koji se određuje lokacija korištenjem istih. Rad je ponajprije usredotočen na globalni



navigacijski sustav GPS, ali dotiče se i drugih kao što su GLONASS, Galileo, i BeiDou. Nadalje, drugo poglavlje sadrži detaljan opis strukture mreže pete generacije, odnosno 5G mreže te kako će uvođenje spomenute utjecati na navigacijske sustave.

Treće poglavlje detaljno opisuje tehnologiju V2X, standardizaciju iste te kakve promjene u samu tehnologiju V2X i infrastrukturu unosi uvođenje 5G mreže.

Četvrto poglavlje prikazuje međunarodnu preporuku za ograničenje razine elektromagnetskih polja, a bazira se na Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja Republike Hrvatske. Navedena regulativa temelji se na međunarodnom ograničenju, odnosno na Preporuci Vijeća Europske unije 1999/519/EC o ograničavanju izlaganja ljudi elektromagnetskim poljima (0 Hz-300 GHz). Naposljetku, u ovom poglavlju istaknute su razlike u implementaciji Preporuke Vijeća Europske Unije između država članica i preporuke Vijeća Europske Unije o uvođenju 5G mreže.

Peto poglavlje obuhvaća metodologiju izračuna jakosti električnih polja u blizini baznih postaja, odnosno navodi i objašnjava formule koje se koriste u radu.

Šesto poglavlje predstavlja aplikativno rješenje formulama navedenim u petom poglavlju, odnosno obuhvaća Program za izračun jakosti polja oko bazne stanice pri korištenju V2X tehnologije, koji je u ovom radu služio kako bi se usporedili iznosi jakosti električnih polja pri različitim frekvencijama i udaljenostima od baznih stanica.

Sedmo poglavlje donosi zaključke proistekle iz rada.

## 2. ODREĐIVANJE LOKACIJE KORIŠTENJEM 5G TEHNOLOGIJE I NAVIGACIJSKIH SUSTAVA

Od početaka čovječanstva, ljudi su tražili razne metode i načine određivanja svog položaja u prostoru. Kako i prije, tako i danas, položaj pojedinca u prostoru veoma je važan jer od tog položaja se formira mnogo toga. Primjerice, položaj na kojem se pojedinac nalazi utječe na to gdje će ići i koliko mu vremenski treba da stigne do odredišta. Nadalje, položaj pojedinca određuje i mnoge kulturološke karakteristike koje će pojedinac vrednovati. Iako se današnji svijet uvelike razlikuje od svijeta u kojem su ljudi položaj određivali pomoću zvijezda i prirode općenito, danas je lokacija postala neizostavan dio svakodnevnice.

Nedavni rast prometa rezultirao je i povećanom gustoćom istog, ali i povećanjem broja nesreća. Paralelno tomu, porasla je i potražnja za sustavima pozicioniranja vozila. Postojeći globalni navigacijski satelitski sustavi utvrđuju lokaciju pomoću optičke vidljivosti što dovodi do otežanog utvrđivanja lokacije vozila unutar urbanog područja sa mnogo visokih objekata ili tijekom prolaska kroz regiju koju karakteriziraju mnogobrojna stabla s gustim lišćem. Danas živimo u svijetu gdje tehnologija olakšava svakodnevnicu, ali i sam napredak jednog područja modernog svijeta iziskuje razvitak drugog. Drugim riječima, razvitkom određenog dijela modernog svijeta, paralelno dolazi do potražnje razvitka i osmišljavanja unaprjeđivanja drugog. Dakle, iako navigacijski satelitski sustavi već postoje, potrebno ih je nadograditi iz razloga što se, u ovom slučaju govoreći u smislu prijevoza i prometa, razvila i potreba da se vozila lociraju i na mjestima koja prije nisu bila uključena u dizajniranje rada navigacijskih sustava [1].

Nadalje, zbog potražnje uređaja koji mogu odrediti lokaciju vozila u stvarnom vremenu, osiguravaju se mobilne mreže pete generacije ili 5G mreže koje će detaljnije biti objašnjene u daljnjem radu.

Određivanje lokacije veoma je bitno u prometu, iz više razloga. Prvenstveno, točna lokacija u stvarnom vremenu pridonijela bi povećanju sigurnosti u prometu. Nadalje, produktivnost u zanimanjima koja su primarno vezana uz vožnju bi se povećala. Još jedan od prednosti utvrđivanja lokacije jest zaštita samog vozila od krađe i slično. Primjerice, Svjetska Zdravstvena organizacija ili WHO (World Health Organization) ističe kako su nesreće u prometu još uvijek prevelike unatoč razvoju automobila, tehnologija, itd. [2]

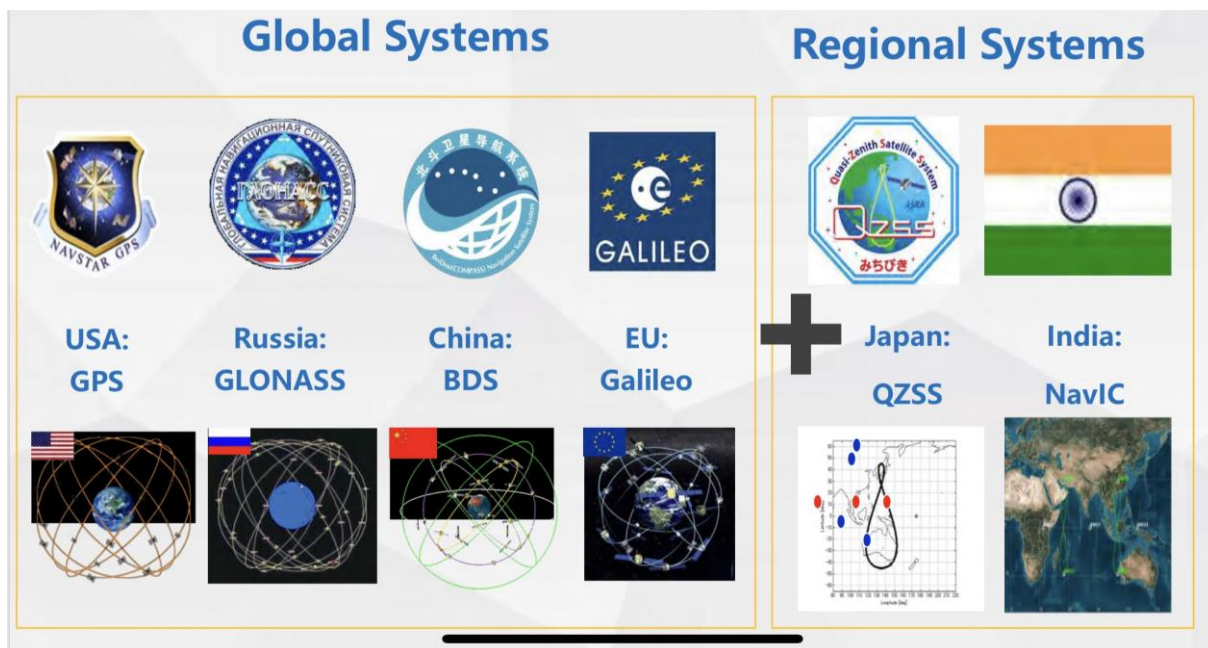


*Slika 1 Grafički prikaz statističkih podataka o prometnim nesrećama prema podacima WHO-a*

## 2.1. NAVIGACIJSKI SUSTAVI

Kroz povijest pozicioniranja i navigacije, velikim korakom smatra se razvoj globalnih navigacijskih satelitskih sustava ili GNSS (eng. *Global Navigation Satellite System*) čiji je početak započeo uspostavom NAVSTAR-a (eng. *Navigation Satellite Timing and Ranging*), odnosno GPS-a (eng. *Global Positioning System*) kojeg je razvilo Ministarstvo obrane SAD-a u kasnim 1970-ima. GNSS jest zajednički naziv za sve sustave za pozicioniranje i navigaciju. Iako je prvobitna ideja korištenja GPS-a bila isključivo vojna primjena, raznovrsnost GPS aplikacija brzo je proširena i na upotrebu kakvu danas poznajemo – civilnu. Nedugo nakon početka razvoja GPS-a, započinje i razvoj ruskog navigacijskog sustava pod imenom GLONASS (rus. *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Razvoj prvih dvaju navigacijskih sustava potakli su druge države na razvoj vlastitih, stoga Europska Unija razvija sustav Galileo čije su usluge postale dostupne javnosti u 2016 godini te Kineski BeiDou (poznat još kao i BDS ili Compass) koji se kao i Galileo, počeo razvijati već

1990-ih, ali su usluge dostupne javnosti tek odnedavno. Uz ova četiri globalna sustava, postoje još manji, odnosno regionalni navigacijski sustavi, od kojih su dva indijski IRNSS (eng. *Indian Regional Navigation Satellite System*) i te japanski QZSS (eng. *Quasi-Zenith Satellite System*). [3] - [5]



Slika 2 Prikaz globalnih i regionalnih GNSS sustava, [6]

Svaki navigacijski sustav mora ispuniti sljedeće zahtjeve:

1. Točnost – predstavlja zahtjev koji se odnosi na poklapanje izmjerene ili procijenjene lokacije s realnom, odnosno pravom lokacijom u određenom vremenu. Radionavigacijska točnost ispunjava sljedeće kriterije:
  - 1.1. predvidivost – točnost lokacije u odnosu na geografske koordinate Zemlje
  - 1.2. ponovljivost- točnost koja omogućava korisniku da se vrati na lokaciju koordinata izmjerenih prije
  - 1.3. relativnost – točnost kojom se može utvrditi lokacija relativno u odnosu na drugu.

2. Cjelovitost – zahtjev za pouzdanošću lokacije koja uključuje najavljivanje pogreške, odnosno upozorenje sustava korisniku onda kada se sustav ne bi trebao koristiti iz razloga što na određivanje lokacije utječe neki čimbenik koji lokaciju čini pogrešnom.
3. Raspoloživost – zahtjev za raspoloživošću sustava u određenom postotku vremena u kojem su navigacijski signali dostupni za lociranje unutra zahtijevanog područja.
4. Kontinuitet – zahtjev koji se odnosi na cjelokupni sustav, odnosno njegovu funkcionalnost koja omogućava rad bez prekida za vrijeme neke operacije, primjerice slijetanja aviona. [5]

#### 2.1.1. NAVSTAR GPS

GPS se od prethodno spomenutih sustava razlikuje po tome što je prvi globalni navigacijski satelitski sustav. GPS se sastoji od tri segmenta: svemirskog (sateliti), kontrolnog (zemaljske stanice) i korisničkog (korisnici i njihovi GPS-prijamnici). U ovom radu pobliže će se objasniti svaki segment te sam način rada GPS-a.

#### **Svemirski segment**

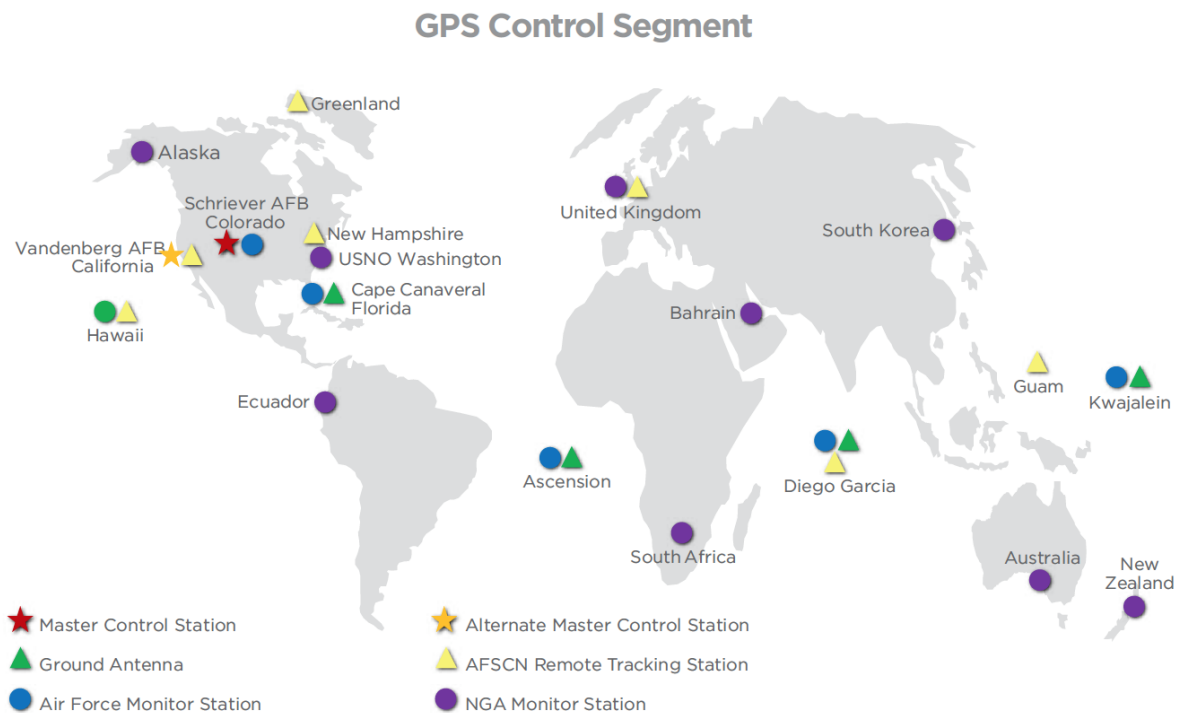
Svemirski segment se sastoji od najmanje 24 satelita od kojih je 21 aktivan, a preostala 3 služe za rezervu. Trenutno je aktivno 30 satelita, no prethodno spomenutih 24 su takozvana jezgra ili srce sustava. Prvi GPS-sateliti u svemir su lansirani 1978. godine, a 1994. postignuta je brojka od 24 satelita, dok je u potpunosti funkcionalan postao 1995. godine. Sateliti se nalaze u srednjoj Zemljinoj orbiti (MEO – eng. *Medium-Earth Orbit*), točnije na 20 183 kilometara iznad Zemljine površine, a raspoređeni su unutar šest orbitalnih ravnina te su međusobno razmaknuti za 60°. Orbite su kružne s kutom od 55° u odnosu na ekvator te svakom satelitu je vrijeme ophođenja oko Zemlje 11 sati i 56 minuta, dakle putuju brzinom 11 000 kilometra na sat. Razlog ovakvom rasporedu jest što rad na ovoj visini omogućuje prekrivenost većeg područja, tj. veće površine, a sateliti su složeni u orbite jer na taj način GPS-prijamnik na Zemlji uvijek prima signale barem četiri satelita, odnosno najmanje četiri satelita su vidljiva sa bilo kojeg položaja na Zemlji. Sateliti se napajaju solarnom energijom, no ugrađene su i rezervne baterije koje održavaju satelite u pogonu u slučaju izostanka solarne

energije, primjerice u trenutku kada ih Zemlja zaklanja. Iako im je pretpostavljeni prosječni vijek trajanja otprilike 10 godina, stvarni životni vijek dosta nadmaši pretpostavljeni.

Svaki GPS-satelit emitira radiosignale koji imaju malu snagu na nekoliko frekvencija, a označene su kao L1, L2, itd. Signal dakle prolazi kroz dielektrike i nemetale, no ne prolazi kroz objekte kao što su zgrade ili planine, stoga je prilikom korištenja GPS-a važno da se uređaj nalazi na području gdje je pogled na nebo neometan. [7]

## Kontrolni segment

Kontrolni segment upravlja, odnosno kontrolira GPS-satelite tako što ih prati i pruža ispravljene orbitalne i vremenske informacije. Glavna kontrolna stanica šalje natrag GPS-satelitima ispravljene satelitske podatke, a nalazi se u vojnoj zračnoj bazi Schriever u Coloradu. [7]

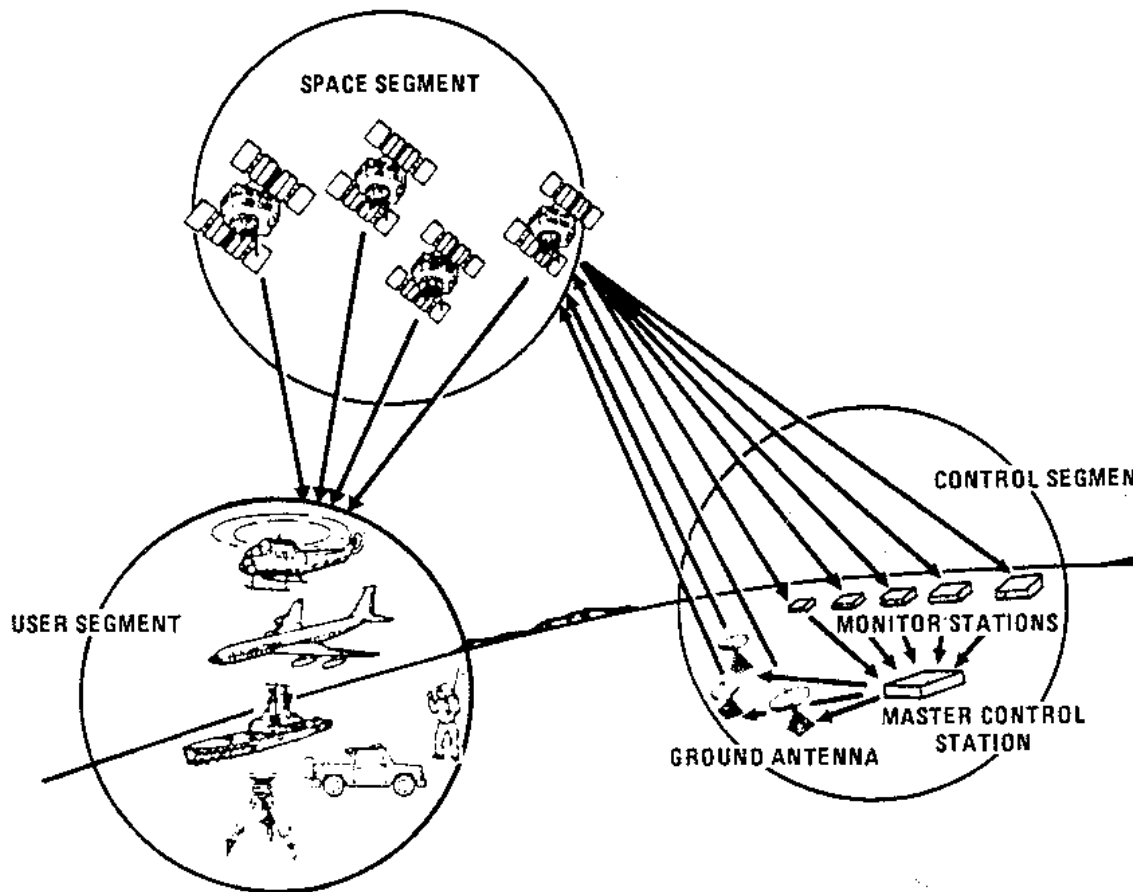


*Slika 3 Prikaz kontrolnog segmenta GPS-a, [8]*

## Korisnički segment

Korisnički segment sastoji se od svih korisnika, dakle svih onih koji koriste GPS i od njihovih prijaimnika. Dakle, korisnički segment sačinjen je od svih onih koji koriste usluge GPS-a.

Civilnim korisnicima namijenjen je besplatan standardni pozicijski servis SPS (*Standard Positioning Service*). S druge strane, precizni pozicijski servis PPS (*Precise Positioning Service*) osmišljen je za vojsku i autorizirane korisnike. GPS prijaimnici kakve danas poznajemo u različitim oblicima kao što su čipovi, mikroprocesori, antene i slično su suprotnost onome što su bili prvotni GPS prijaimnici velikih dimenzija i mase koji su bili dizajnirani (kao i sam GPS) za potrebe vojske. [7]

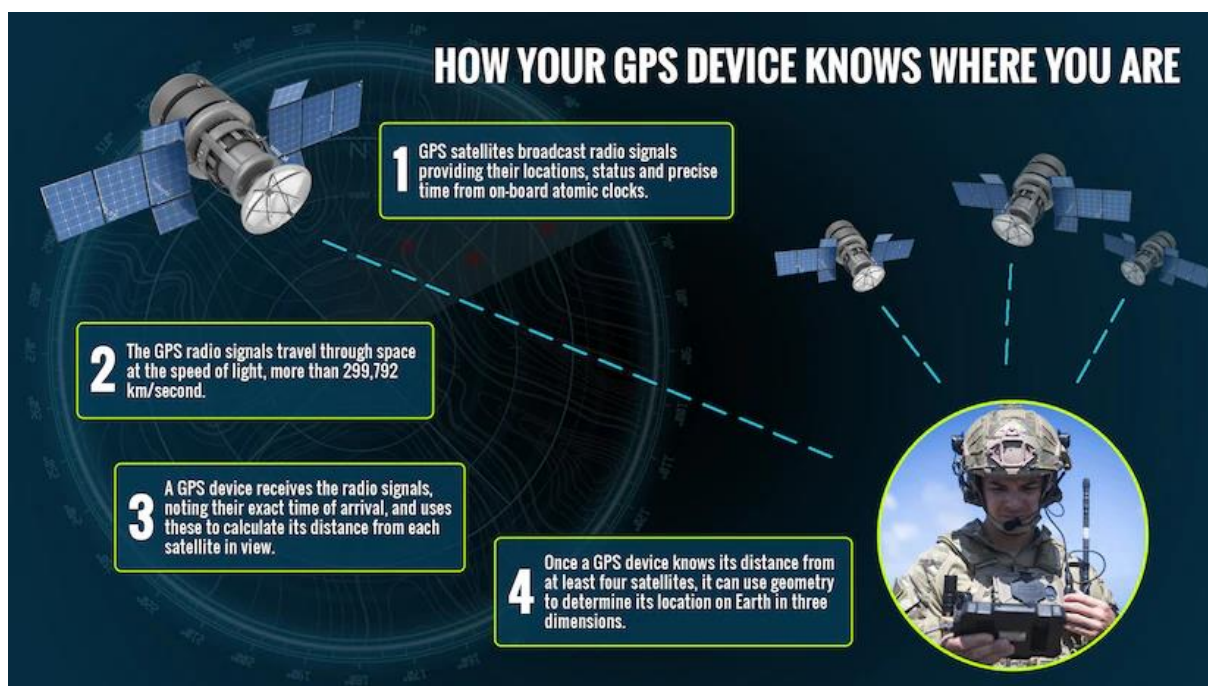


Slika 4 Prikaz segmenta GPS-a, [9]



## Princip rada GPS-a i određivanje lokacije

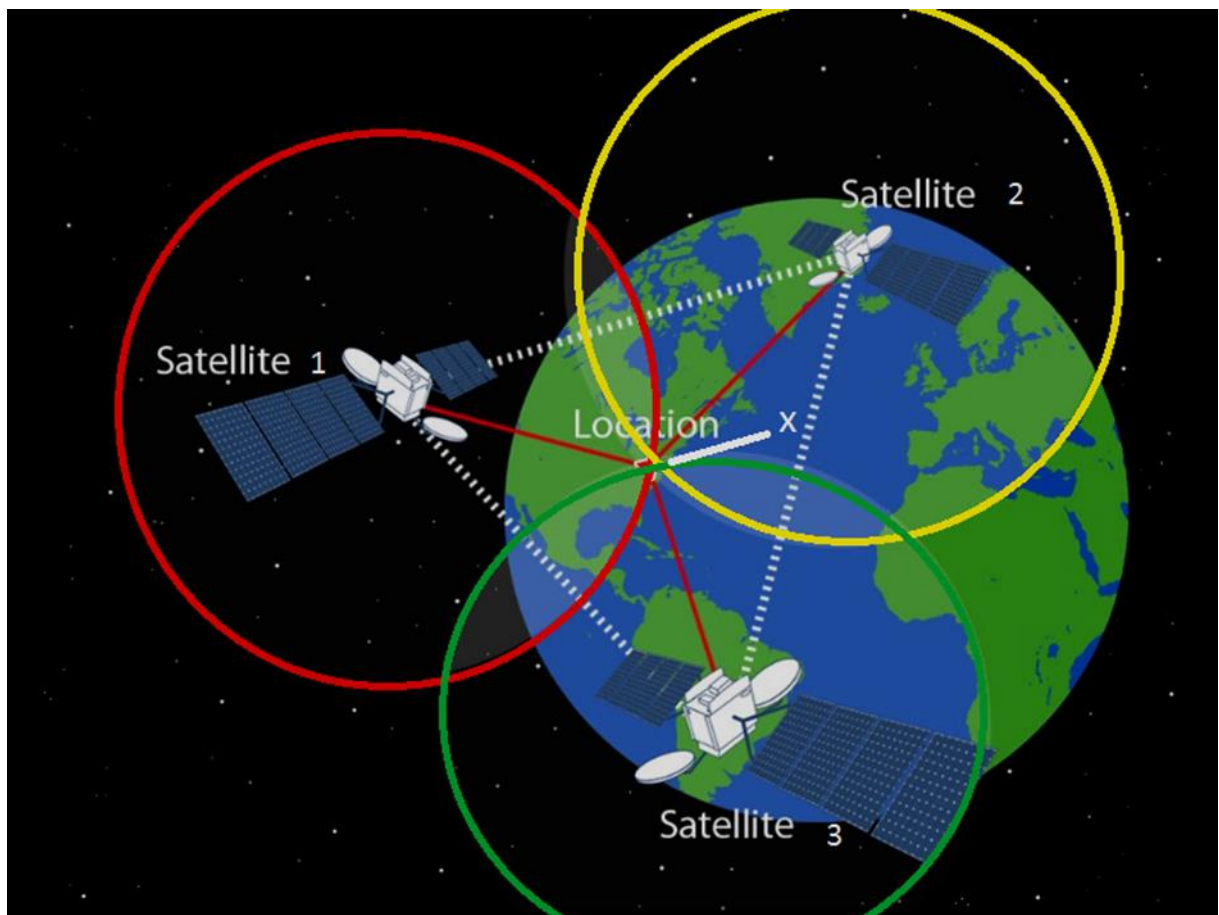
Dvije najvažnije stavke za GPS-prijamnik u utvrđivanju lokacije jesu položaj satelita, odnosno mora znati gdje se sateliti nalaze te druga jest njihova udaljenost, tj. koliko su daleko od prijemnika. GPS-prijamnik prikuplja dvije vrste kodiranih informacije od satelita. Jedna vrsta sadrži približni položaj satelita, takvi podaci nazivaju se podacima iz almanaha, oni se kontinuirano prenose i spremaju u memoriju GPS-prijamnika kako bi prijamnik znao gdje bi koji satelit trebao biti u određenom trenutku. Unatoč tome što GPS-prijamnik zna gdje se koji satelit nalazi, može doći do situacije u kojoj satelit putuje izvan proračunate orbitalne putanje te u tom slučaju dolazimo do kontrolnog segmenta GPS-a, zemaljske stanice koja prati orbite, visinu, položaj i brzinu satelita. Prethodno spomenuta zemaljska stanica šalje podatke o orbiti glavnoj kontrolnoj stanici koja je zadužena da šalje natrag satelitima ispravljene podatke koji se još nazivaju i efemeride. Efemeride vrijede do šest sati, a GPS-prijamnicima se šalju u kodiranom obliku.



Slika 5 Prikaz rada GPS-a, [10]



Uzimajući u obzir položaj satelita u prostoru, GPS-prijamnik još treba informaciju o tome koliko su sateliti udaljeni kako bi odredio vlastiti položaj na Zemlji. Naime, prijemnik replicira signal te mjeri pomak primljenog signala na vremenskoj osnovi upravo zato jer je GPS vremenski usklađen. Kada GPS-prijemnik primi signal od satelita, on uspoređuje vrijeme u kojem je primio signal s vremenom u kojem je signal bio prenošen, te na taj način određuje koliko dugo je signal trajao. Drugim riječima, brzina signala pomnoženog s vremenom koje treba da signal dođe do prijemnika jednaka je udaljenosti satelita. Sukladno navedenom formula koja se koristi je: udaljenost satelita = vrijeme \* brzina. Prilikom računanja ovakvih valova, brzina je jednaka brzini svjetlosti jer su oba oblika brzine elektromagnetskog zračenja. Ako GPS-signalu treba 0,1 sekunda da prenese signal, računamo da je satelit udaljen 29.979,2458 km zbog toga što brzina svjetlosti iznosi 299.792,458 kilometara u sekundi. [11]



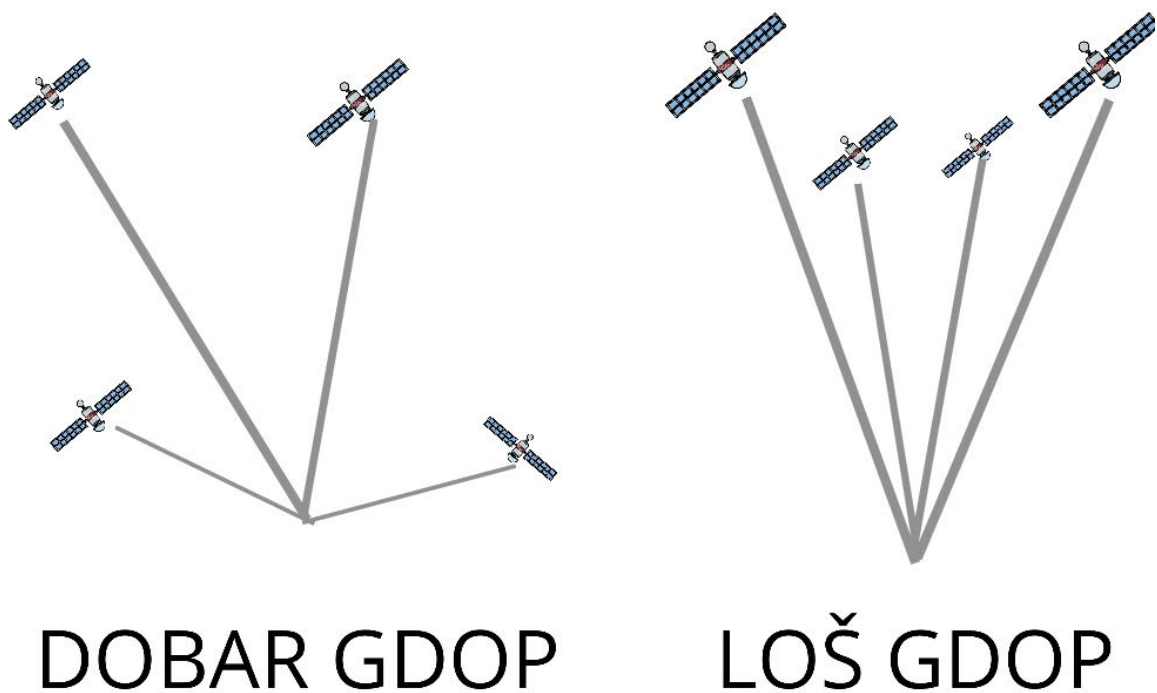
*Slika 6 Prikaz izračuna lokacije pomoću GPS-satelita, [10]*

Kako bi GPS-prijamnik odredio svoj položaj na Zemlji, mora znati udaljenost od tri satelita. Slika 4 prikazuje 3 satelita. Satelit 1 i njegova crvena sfera prikazuje sve točke koje su na udaljenosti primjerice 23 000 km od samog satelita. Sukladno tome, žuta sfera prikazuje sve točke na udaljenosti od 23 500 km (primjera radi) od satelita 2. Nadalje, zelena sfera prikazuje sve točke unutar 22 500 km od satelita 3. Uzevši u obzir sve navedeno, točka koja je označena s „X“ jest točka koja se nalazi na udaljenosti od 23 000 km od satelita 1, 23 500 km od satelita 2 te 22 500 km od satelita 3 te na taj način GPS prijemnik koji se nalazi na točki X zna svoju lokaciju. [11]

### **Greške pri određivanju lokacije**

Prilikom određivanja pozicije sustavom GPS, točnost određivanja lokacije ovisi o međusobnom utjecaju nekoliko čimbenika, a pogreške pri lociranju, tj. pozicioniranju korisnika mogu biti uzorkovane sistemskim ili geometrijskim pogreškama. Sistemske pogreške nastaju pri određivanju udaljenosti satelita i korisnika. Drugim riječima, točnost lociranja ovisiti će o kvaliteti mjerenja udaljenosti korisnika od satelita, te izmjerene položaja satelita u orbitama, no važno je napomenuti da su upravo kontrolne stanice zadužene za eliminiranje ovih greški, te je njihov zadatak da takve pogrešne informacije isprave te takve ispravljene informacije prosljeđuju dalje. S druge strane, geometrijske pogreške nastaju zbog prostorne raspodjele korisnika i satelita. Prilikom izračunavanja udaljenosti GPS-satelita i GPS-prijamnika koristi se GDOP (eng. *Geometric Dilution of Precision*) – geometrijska mjera preciznosti koja je ujedno i bezdimenzijski faktor. Ukoliko GDOP-faktor poprimi visoke vrijednosti, zaključuje se da je broj vidljivih satelita smanjen. Povoljan geometrijski raspored satelita općenito se uzima kada je GDOP manji od 5. [12]

Na slici 7 prikazana su dva rasporeda četiriju vidljivih satelita. Točnost pozicioniranja GPS-prijamnika na Zemlji razlikuje se, sa jedne strane, kada je položaj satelita povoljan za precizno pozicioniranje, dok s druge strane, položaj četiri vidljiva satelita nije povoljan kako bi se utvrdila precizna lokacija GPS-prijamnika na Zemlji.



*Slika 7 Prikaz povoljnog i nepovoljno GDOP-a*

Kod sustava GPS, glavni izvori pogrešaka prilikom pozicioniranja su :

- 1) Ionosfersko kašnjenje – satelitski signal kasni tijekom transmisije kroz ionosferu – električni vodljivi sloj Zemljine atmosfere koji se nalazi na visini od 60 do 400 km – kašnjenje je uzorkovano promjenom gustoće elektrona.
- 2) Troposfersko kašnjenje – satelitski signal također kasni prilikom transmisije, ali ovdje se radi o najnižem sloju atmosfere koji varira ovisno o predjelu Zemlje od 6 do 20 km, te je signal ovdje ometan vodenim parama i promjenom atmosferskog tlaka.
- 3) Prijam reflektiranog vala ili višestruki put signala – pogreška koja nastaje u situaciji kada je, prije no što stigne do prijammnika, GPS-signal reflektiran od objekata, primjerice zgrada ili stijena, dakle vrijeme putovanja signala produženo je te na taj način nastaje pogreška.
- 4) Efemeride satelita ili orbitalne pogreške – ranije spomenute efemeride satelita važne su za određivanje lokacije GPS-prijemnika, stoga ukoliko dođe do netočnog izvještaja o položaju satelita, dolazi i do pogreške pri lociranju GPS-prijamnika na Zemlji.

- 5) Odstupanje sata GPS-prijamnika – ugrađeni sat u GPS-prijamniku može odstupati, odnosno prikazivati vrijeme s malim pogreškama u vremenu, a atomski satovi koji su ugrađeni u satelite su preveliki i preskupi da bi bili ugrađeni i u GPS-prijamnike.
- 6) Geometrija satelita ili zasjenjivanje – jest greška koja nastaje ukoliko su sateliti smješteni pod velikim kutom u odnosu jedan naprema drugog, odnosno nastaje već spomenuti GDOP (prikazano na slici 6). [12]

Tablica 1 Izvori pogreške prilikom lociranja pomoću GPS-a i njihov opseg, [7]

<b>IZVOR POGREŠKE</b>	<b>OPSEG POGREŠKE</b>
<b>IONSFERSKO KAŠNJENJE</b>	7 m
<b>TROPOSFERSKO KAŠNJENJE</b>	0,6 m
<b>VIŠESTRUKI PUT SIGNALA</b>	1-2 m (uvelike ovisi o okolini)
<b>EFEMERIDE</b>	2-3 m
<b>ODSTUPANJE SATA</b>	1-2 m
<b>ŠUM PRIJEMNIKA</b>	1-2 m

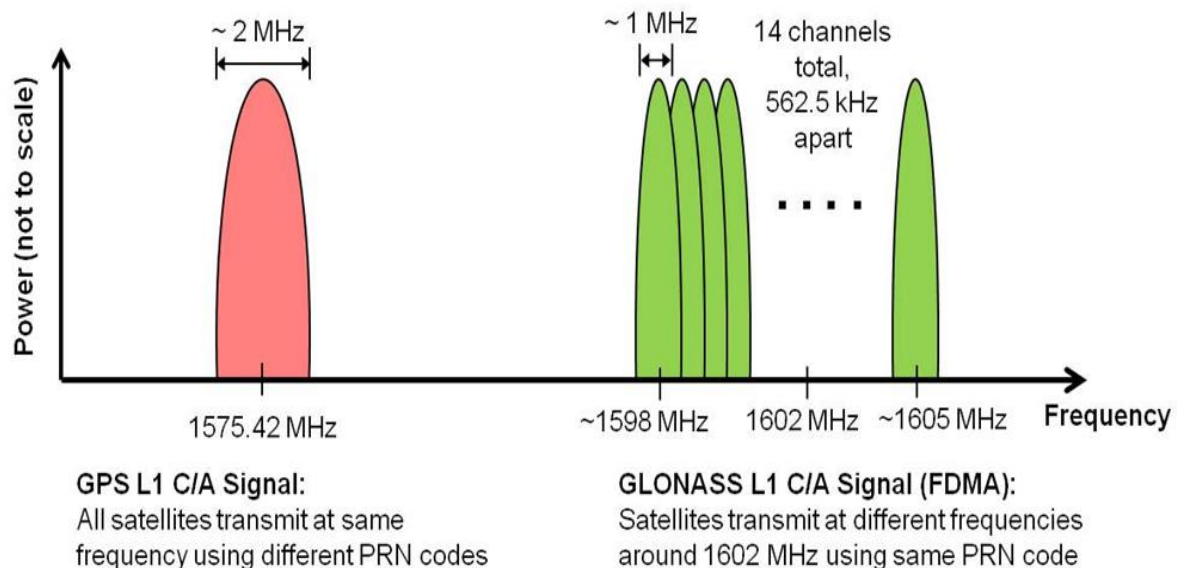
### 2.1.2. GLONASS

Kao što je prethodno spomenuto u ovom radu, GLONASS je satelitski navigacijski sustav. Razvoj ruskog GLONASS-a počeo je 1976. Prvi GLONASS satelit lansiran je 1982. godine, a operativan je postao početkom siječnja 1996. GLONASS je često nazivan i alternativom GPS-a. U početku, 1990-ih uspješno je funkcionirao, no ranih 2000-ih postao je neupotrebljiv. Tijekom 1998. GLONASS je sadržavao četrnaest satelita, no 2001. je ta brojka iznosila svega šest. Od 2004.godine GLONASS se počinje modernizirati te je sustav 2011 krenuo s ponovnim radom. [13]

Postoji sveukupno pet verzija GLONASS-a:

- 1) GLONASS (1982.)
- 2) GLONASS-M (2003.)
- 3) GLONASS-K (2011.)
- 4) GLONASS-K2 (2015.)
- 5) GLONASS-KM (2025.) – trenutno u fazi istraživanja. [14]

GLONASS koristi 24 satelita, a od GPS-a se razlikuje po nekoliko stavaka. Prvotno, ne samo da oba sustava koriste različit broj satelita, već se razlikuju i po točnosti određivanja lokacije. Naime, GLONASS-ova preciznost jest između 5 i 10 metara, dok je GPS-ova 3,5 do 7,8 metara. Drugo, oba sustava rade na različitim frekvencijama, GLONASS koristi do 5 frekvencija (izvorno je sustav prenosio signale u dva opsega: L1, 1602,0–1615,5 MHz i L2, 1246,0–1256,5 MHz, na frekvencijama razmaknutim od 0,5625 MHz na L1 i na 0,4375 MHz na L2). Nadalje, uspoređujući pokrivenost, GLONASS zaostaje za GPS-om, dakle pokrivenost GLONASS-a je znatno manja od površine koju pokriva GPS. Unatoč tome, važno je istaknuti kako, iako pokriva manju površinu, GLONASS može locirati uređaj kada su GPS signali izgubljeni, primjerice ukoliko visoke zgrade ometaju signal. [14]



*Slika 8 Prikaz razlika u signalima između GPS-a i GLONASS-a, [15]*

Sustav GLONASS sastavljen je od osam satelita ravnomjerno raspoređenih u tri orbitalne ravnine pod nagibom prema ekvatoru od  $64,8^\circ$ , a kut između svake od ravnina iznosi  $120^\circ$ . Orbitalna visina satelita u GLONASS-u iznosi 19.100 km. Iz zemljine perspektive, svaki satelit se pojavljuje u istom položaju na nebu svakih osam dana. Drugim riječima, ophodno vrijeme je 8/17 dana. Struktura signala GLONASS-a slična je onoj GPS-a. Naime, i GLONASS i GPS utvrđuju lokaciju pomoću pseudoudaljenosti, no kao što je već spomenuto, frekvencije tih signala se razlikuju od sustava do sustava.

Kontrolni segment GLONASS sustava sastoji se od kontrolnog centra udaljenog otprilike 70 km od Moskve, u Krasnoznamensku. Ovaj glavni kontrolni centar povezan je sa

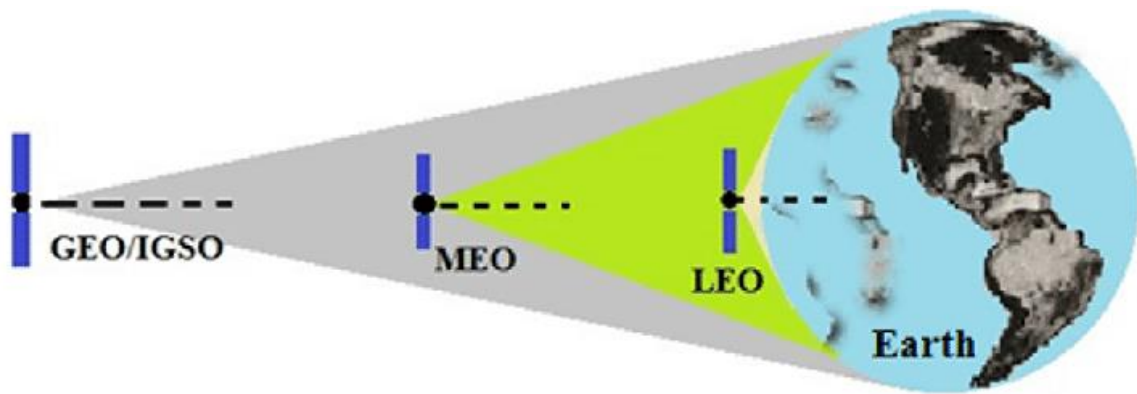
još osam stanica koja su zadužena za kontrolu i nadgledanje rada GLONASS-a, s posebnim naglaskom na uočavanje pogrešaka u lociranju koje su prethodno u tekstu pobliže objašnjene.

### 2.1.3. GALILEO

Uvidjevši važnost i vrijednost GNSS sustava, Europska Unija (EU) pokušala je biti dio kontrole i razvoja GPS-a. Međutim, SAD kao jedna od velesila, smatrala je takav potez neprihvatljivim. Zatim je Europska Unija pokušala započeti suradnju sa Rusijom i biti dio razvitka GLONASS-a, no i tamo je doživjela odbijanje. Zbog svega navedenog, Europska Unija nije imala drugu opciju osim razviti vlastit GNSS. Takvu odluku EU donosi 2002. godine te Europska Svemirska Agencija (ESA, eng. European Space Agency) uvodi vlastiti globalni satelitski navigacijski sustav kojeg naziva GALILEO. Prvi Galileo Sateliti, GIOVE-A i GIOVE-B lansirani su 2005. i 2008. godine, no oni su bili eksperimentalni. Zatim su, 2011. godine lansirana prva dva funkcionalna satelita, a sustav je u potpunosti funkcionalan od 2020. Godine. [7]

Konstrukcija sustava Galileo uključuje 30 satelita koji signale emitiraju na nekoliko frekvencija. Predviđeni vijek trajanja jednog satelita je 20 godina. [16]

Postoje dvije opcije položaja satelita unutar Galileo sustava. Prvi položaj naziva se MEO (eng. *Medium Earth Orbit*), a odnosi se na srednju Zemljinu orbitu. U MEO položaj postavljeno je 30 jednako raspoređenih satelita, od koja su 27 aktivna, a tri pričuvna, na visini koja iznosi 23616 km. S druge strane, GEO (eng. *Geosynchronous Earth Orbit*) konstelacija uključuje inklinaciju od  $53^\circ$  čime se postiže dostupnost usluge na lokacijama koje se nalaze na najvećim geografskim širinama, odnosno usluge Galileo sustava postaju dostupne svim Europljanima. Upravo GEO položaj satelita jest ono što čini Galileo različitim od ostalih GNSS sustava jer Galileo nije dizajniran i osmišljen isključivo radi vojne uporabe koja isključuje ili predviđa smanjenu potrebu za korištenjem ovakvih navigacijskih sustava u polarnim područjima. [16]



Slika 9 Ilustracija mogućih položaja satelita unutar Zemljinih orbita, [17]

Ovaj sustav zamišljen je, u skladu sa politikom EU, da pruža usluge za nekoliko područja: civilno, trgovačko, sigurnost života i hitna pomoć. Nadalje, Galileo svoje vlastiti sustav za mjerenje vremena nazvan GST (eng. nazvano Galileo System Time). GST jest kontinuirana skala atomskog vremena koja ima konstantno odstupanje od Međunarodnog Atomskog Vremena – TAI (eng. *International Atomic Time*). GST počinje točno u ponoć između subote i nedjelje, a sastoji od dvije komponente: broja tjedana ili WN (eng. *Week Number*) i doba tjedna ili TOW (eng. *Time Of the Week*). Broj tjedana, odnosno WN broji 4096 tjedana, te se nakon tog iznosa vraća na početak, tj. na nulu. Tjedan unutar GST-a iznosi 604.800 s i na nulu se vraća, kao što je već spomenuto, u ponoć između subote i nedjelje. Odnos GST-a i Koordiniranog svjetskog vremena ili UTC (eng. *Coordinated Universal Time*) izražen je u razlici od svega nekoliko sekundi. Primjera radi, 1.siječnja 2003. godine razlika između UTC-a i TAI-a iznosila je 32 s ( $TAI - UCT 2003 = + 32$  s). [4]

Galileov kontrolni segment sastoji se od dva kontrolna centra na Zemlji, jedan se nalazi u gradu Oberpfaffenhofen u Njemačkoj, a drugi u talijanskom gradu Fucino. Oba kontrolna centra povezana su sa pet stanica za praćenje i kontrolu, a spadaju pod kontrolni segment nazvan GCS (eng. *Ground Control Segment*) koji je dalje povezan sa stanicama koje čine tzv. GMS (eng. *Ground Mission Segment*) zaduženih za definiranje i distribuciju navigacijskih poruka satelitima, a čini ih 5 stanica za praćenje i kontrolu, 9 tzv. C-band stanica i otprilike 40 senzornih stanica. [7]

#### 2.1.4. BEIDOU

Kineski navigacijski satelitski sustav pod nazivom BeiDou Navigation Satellite System ili BDS sastoji se od dva sustava: regionalnog komunikacijskog navigacijskog i globalnog navigacijskog satelitskog sustava. Iako je inicijalno pokrenut od strane kineske vojske, danas se osim u vojne, koristi i u civilne svrhe. Ovaj navigacijski sustav se od prethodno spomenutih GPS-a, GLONASSA-a i sustava Galileo, razlikuje po tome što su njegovi sateliti raspoređeni u tri različite Zemljine orbite, a ukupno broji 35 satelita. Nadalje, 27 satelita od kojih su 24 aktivna, a tri pričuvna, odnosno rezervna, ravnomjerno su raspoređena u tri srednje Zemljine orbite koje su međusobno razmaknute  $120^\circ$ . Navedeni sateliti nalaze se na visini u iznosu od 21 528 km s inklinacijom od  $55^\circ$ , a svakom satelitu je potrebno za ophođenje oko Zemlje 12 sati i 35 minuta. Od ukupno 35, idućih pet satelita nalazi se u geostacionarnoj orbiti ili skraćeno GEO kojima visina položaja iznosi 35 786 km. Posljednja tri satelita smještena su unutar inklinirane geosinkronizirane orbite ili IGSO (eng. *Inclined Geosynchronous Orbit*). [18]

Prilikom osmišljavanja sustava, Kina je imala za cilj gospodarski i društveni razvoj države, a samim time je implementirala kompatibilnost i interoperabilnost BeiDou sustava sa drugim GNSS-ima što bi rezultiralo međunarodnom suradnjom koja bi kasnije dovela do kvalitetnijeg pružanja usluge svim korisnicima. [3]

Iako je jedan od glavnih ciljeva sustava BeiDou da pruži besplatnu uslugu korisnicima, on ipak omogućuje dvije vrste usluga. Prvi, gore spomenuti jest otvoreni servis za civilnu upotrebu koji je besplatan. Nasuprot civilnom, besplatnom, sustav BeiDou omogućuje i autorizirani servis pomoću kojeg korisnici imaju pristup komunikacijskom servisu, pouzdanijem određivanju pozicije, brzine i vremena i viši stupanj integriteta. Kao i svi ostali GNSS-i, BeiDou također ima kontrolni segment, no za razliku od drugih, njegov je veoma ograničen zbog toga što se sve kontrolne postaje nalaze na području Kine. [3]



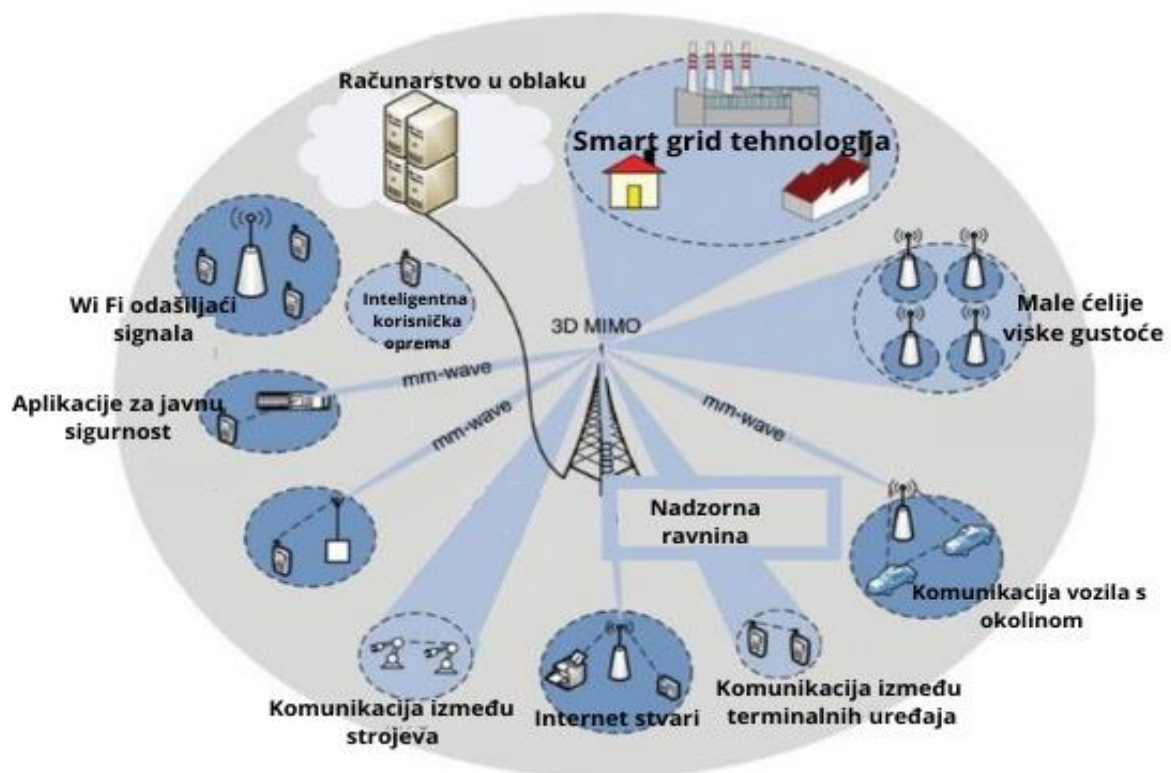
Tablica 2 Tablična usporedba GNSS-a, [7]

	<b>GPS</b>	<b>GLONASS</b>	<b>GALILEO</b>	<b>BEIDOU</b>
<b>UKUPAN BROJ SATELITA</b>	30	24	30	35
<b>GODINA U KOJOJ JE POSTIGNUTA POTPUNA OPERATIVNOST</b>	1995.	1996.	2020.	2020.
<b>VRIJEME POTREBNO ZA OPHOĐENJE OKO ZEMLJE</b>	11 h i 56 min	11 h i 15 min	14 h i 22 min	12 h i 35 min
<b>ORBITALNA VISINA [km]</b>	20 183	19 100	23 616	21 528
<b>INKLINACIJA</b>	55°	64,8°	53°	55°
<b>FREKVENCIJA [MHz]</b>	L1: 1.575,420 L2: 1.227,600 L3: 1.176,450	G1: 1.602,000 G2: 1.246,000 G3: 1.204,704	E1: 1.575,420 E6: 1.278,750 E5: 1.191,795	B1: 1.575,420 B2: 1.191,795 B3: 1.268,520

## 2.2. 5G MREŽA

5G mreža ili peta generacija mobilnih mreža trenutno je u fazi testiranja diljem svijeta, a implementacija u potpunosti očekuje se krajem 2020. godine. Iako je svakodnevica današnjice da čovječanstvo ima mogućnost u dijelu sekunde poslati i primiti podatke pomoću pametnih uređaja i internetske mreže, tehnologija se ne prestaje razvijati. Tako dolazi i do

razvijanja pete generacije mobilnih mreža pomoću koje će se dijeljenje podataka internetskom mrežom odvijati u trenutnom vremenskom odazivu. Nadalje, osim veće brzine, 5G mreža bit će pouzdanija, a očekuje se mogućnost spajanja do milijun uređaja po kilometru kvadratnom, te će uređaji postizati veću efikasnost. Iako 5G mreža pruža uslugu veoma brzog pristupa internetu, ali i stabilniju vezu bez smetnji, ova tehnologija nudi mnogo više od brzog Interneta. Primjerice, 5G mreža korisniku osigurava prijenos podataka u područjima manje naseljenosti, ali i prilikom visoke mobilnosti, primjerice tokom vožnje. [19]



Slika 10 Struktura 5G mreže, [20]

Usporedimo li strukturu 5G mreže prikazane na slici 10, s prijašnjim generacijama mreže, ona je znatno promijenjena. Kako bi se postigli određene ciljne performanse, smanjilo kašnjenje prijenosa podataka, a ujedno povećala pouzdanost, arhitektura 5G mreže strukturirana je s ciljem podrške širem spektru aplikacija kao što su direktna komunikacija dvaju ili više uređaja, mobilni Internet s velikim brzinama ili ono što će se detaljnije razraditi u ovom radu – komunikacija vozila s okolinom ili V2X (eng. *Vehicle to X*) koja će služiti smanjenju nezgoda na cesti, zagušenja u prometu i slično. Drugim riječima, vozila će moći

komunicirati između sebe o stanju na prometnicama, imati će informaciju o mijenjanju svjetla na semaforu, itd. što doprinosi sigurnijoj vožnji. [20]

Nadalje, računarstvo u oblaku (eng. *Cloud computing*), pruža resurse kao usluge koje se krajnjim korisnicima dostavljaju preko Interneta, a usluga se plaća onoliko koliko je korištena. Dakle, računalni sadržaji dostupni su u bilo koje vrijeme i na bilo kojem mjestu po potrebi korisnika uz uvjet da korisnik ima pristup internetskoj vezi. Ovakvom strukturom omogućena je elastičnost mreže jer se usluge pružaju na zahtjev. Udruživanjem resursa, povezuju se jedan ili više oblaka te je tako moguće dijeliti pohranjen sadržaj. Arhitektura 5G mreže uključuje i MIMO antenske konfiguracije, odnosno masivnu MIMO tehnologiju (eng. *Multiple Input Multiple Output*). Naime, svaka bazna stanica, kako bi povećala brzinu podataka, sadržavat će velik broj antena što će omogućiti istovremeno posluživanje velikog broja korisnika u istom frekvencijskom opsegu i sve to uz uštedu energije. Smart grid tehnologija jest aplikacijsko rješenje 5G mreže koja upotrebom naprednih informacijskih i telekomunikacijskih tehnologija omogućuje uštedu električne energije. [20]

Isto tako, 5G mreža uključuje i novu tehnologiju koja radi na visokim frekvencijama, odnosno ima veliku širinu frekvencijskog pojasa te je iz tog razloga potrebno gušće postaviti ćelijske konstrukcije kako bi se postigla pokrivenost cijelog područja. Navedena raspodjela ćelija naziva se razvojem manjih ćelija veće gustoće (eng. *Hyperdense small-cell deployment*). Upravo manje ćelije veće gustoće omogućuju 5G mreži brzinu 1000 puta veću od prethodnice. Manje ćelije dijele se na mikro, piko i femto, a razlikuju se po veličini snage raspršivanja signala. Mikro ćelije imaju doseg od 100 do 1000 m, a antene su smještene ispod prosječne razine krovova. Pikoćelije imaju doseg od 10 do 200 m, a korisne su na mjestima gdje mreži pristupa velik broj korisnika kao što su uredi, šoping centri, kolodvori i slično. Femtoćelije smještene su tamo gdje je broj korisnika znatno malen.

Već spomenuta uporaba slobodnog frekvencijskog spektra omogućena je proširenjem u visoke frekvencije – milimetarski valovi (eng. *MM Waves*). Milimetarske valove dijelimo na dvije kategorije ovisno o frekvenciji:

- 1) Mm valovi namijenjeni mikro ćelijama – frekvencijski opseg od 20 do 40 GHz
- 2) Mm valovi namijenjeni piko- i femtoćelijama – frekvencijski opseg od 60 GHz. [21]

Velik broj malih ćelija, kao što je objašnjeno, omogućuje prijenos velike količine podataka, što je dovelo do razvitka ključne komponente mreže pete generacije, a to je da je ona samoorganizirajuća mreža ili SON (eng. *Self-Organising Network*) što znači da radi na tzv. Principu „uključi i radi“ (eng. *Plug and play*), odnosno za postavljanje i održavanje ćelija zadužen je isključivo korisnik, ali korištenje takve mreže olakšava mu komponenta samoorganiziranja. Druga korisna karakteristika samoorganizirajuće mreže jest da je ona i pametna mreža koja ima mogućnost svesti interferenciju signala na minimum tako što, kada se uključi, određuje prikladnu frekvenciju u odnosu na susjedne mreže. [21]

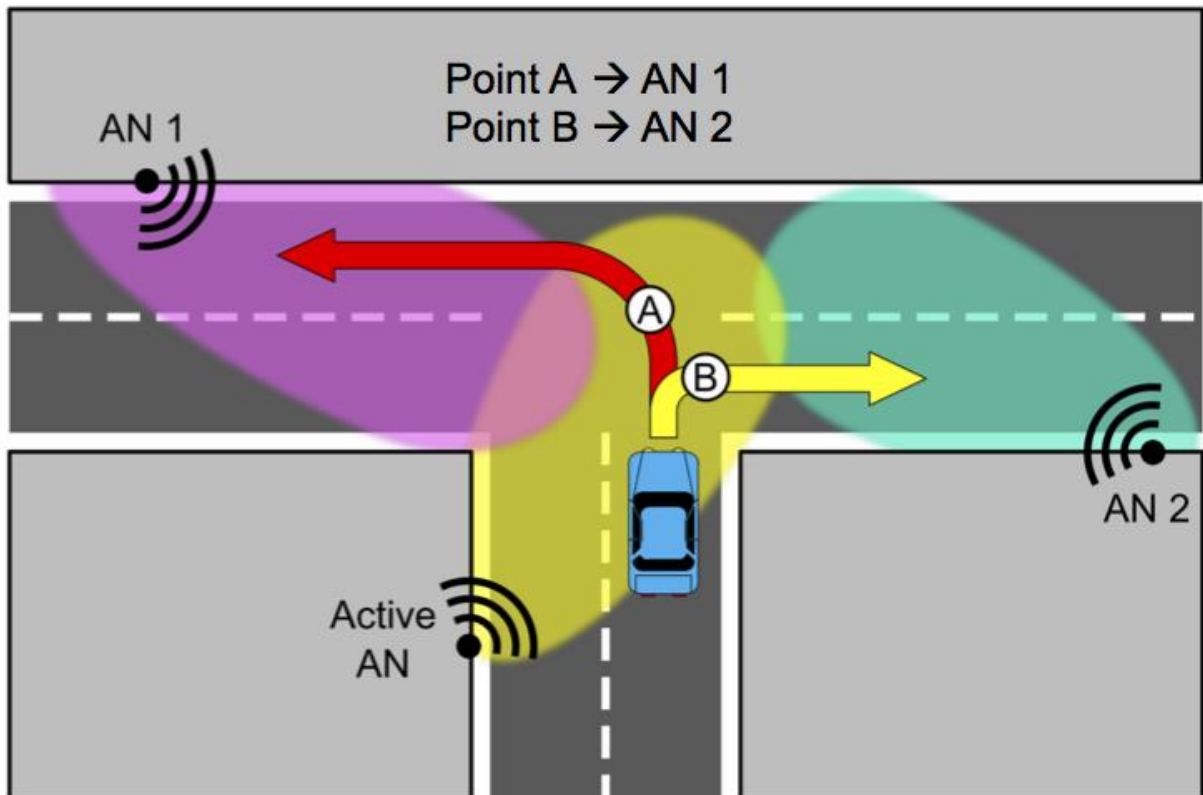
Tablica 3 Usporedba mreža, [22]

	3G	4G	5G
<b>RAZVOJNI PERIOD</b>	2004.-2005.	2006.-2010.	2020.
<b>BRZINA</b>	2 Mbit/s	200 Mbit/s	>1 Gbit/s
<b>LATENCIJA (KAŠNJENJE)</b>	100-500 ms	20-30 ms	<10 ms
<b>PROSJEČNA BRZINA</b>	144 Kbit/s	25 Mbit/s	200-400 Mbit/s

### 2.2.1. LOKACIJA I 5G MREŽA

Na samom početku izvještavanja o 5G mreži, internetski članci, novine, razne tv emisije isticale su kako se svi pojedinci moraju oprostiti od vlastite privatnosti dolaskom 5G mreže. Iako 4G mreža također ima mogućnost određivanja lokacije korisnika, ona nije toliko napredna i sveobuhvatna kao 5G mreža. U daljnjem tekstu raspravljat će se što razvitak 5G mreže znači za određivanje lokacije i postojeće navigacijske sustave.

S obzirom na to da je dostupnost internetske veze s bilo kojeg položaja na Zemlji ono što većina društva priželjkuje i radi ka tom cilju, nije nimalo čudno da isto vrijedi i za pozicioniranje korisnika, tj. određivanje lokacije. Prethodno je u radu opisana infrastruktura 5G mreže te je istaknuto koliko su važni mm valovi, MIMO antenska konfiguracija, manje ćelije veće gustoće te je upravo to način na koji 5G mreža pozicionira korisnika.



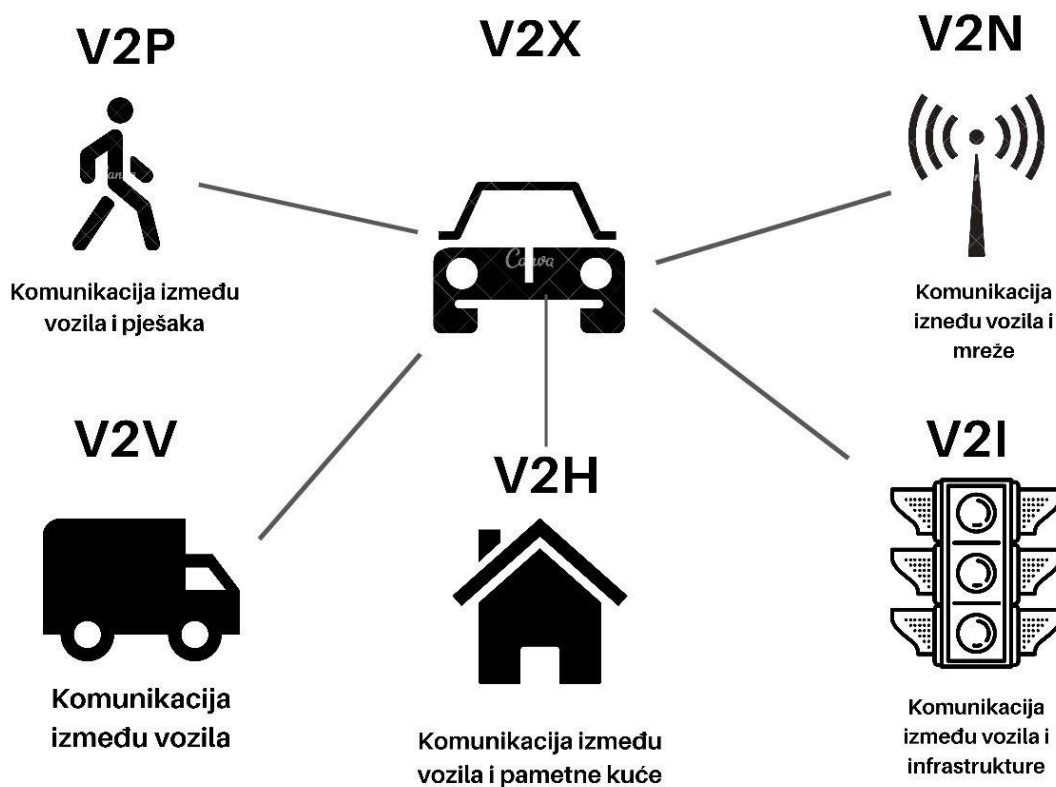
*Slika 11 Prikaz principa određivanja lokacije putem 5G mreže, [22]*

Slika 11 prikazuje kako antene primaju signal vozila u pokretu. Antena označena kao aktivna „AN“, pokriva područje u kojem vozilo mora skrenuti desno ili lijevo te na taj način sustav zna gdje je automobil skrenuo, a iduća postavljena antena preuzima signal. Na ovaj način željelo se utjecati na promet, prometne nesreće, sigurniju vožnju tako što će pute 5G mreže i komunikacijom vozila unaprijed biti znano gdje se koje vozilo kreće. [23]

### 3. STANDARDIZACIJA TEHNOLOGIJE V2X I NAČINI POVEZIVANJA VOZILA PUTEM 5G MREŽE

V2X (eng. Vehicle-to-everything) je tehnologija koja omogućuje komuniciranje vozila sa prometom koji ga okružuje. V2X tehnologija sastoji se od nekoliko komponenata:

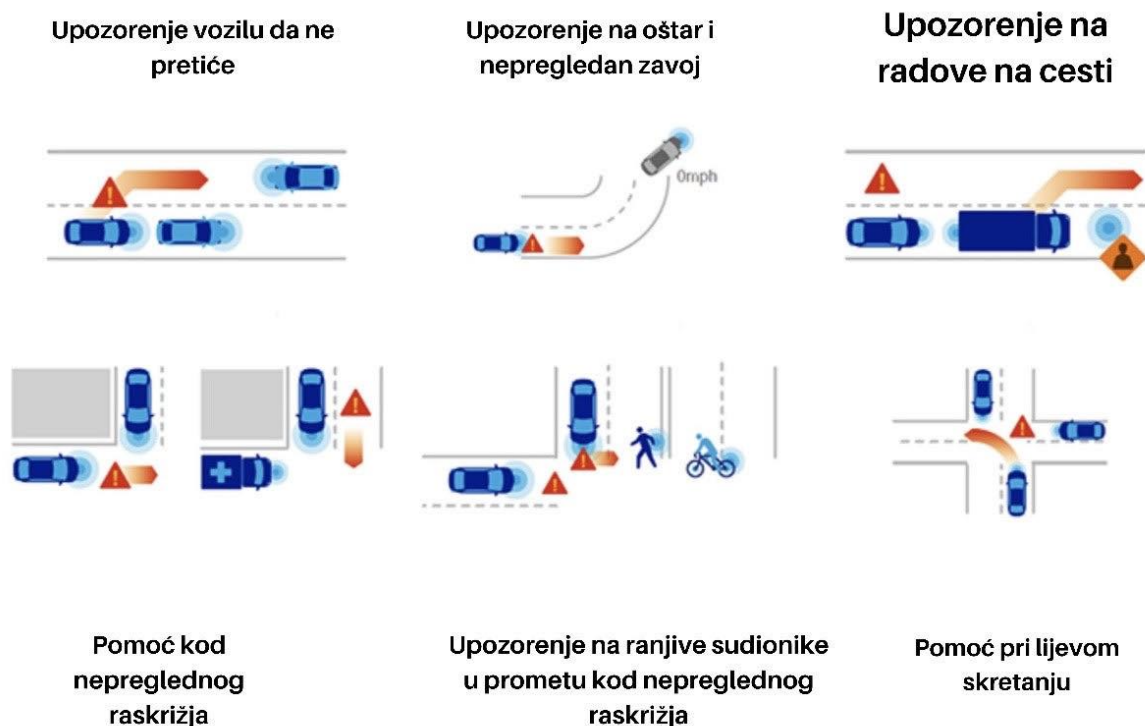
1. V2V (eng. *Vehicle-to-Vehicle*) – omogućuje komunikaciju između vozila
2. V2I (eng. *Vehicle-to-Infrastructure*) – komunikacija između vozila i infrastrukture
3. V2N (eng. *Vehicle-to-Network*) – omogućuje da vozila komuniciraju sa bežičnom mrežom
4. V2P (eng. *Vehicle-to-Pedestrian*) – komunikacija vozila s pješacima
5. V2H (eng. *Vehicle-to-Home*) – tehnologija koja omogućuje komuniciranje vozila sa vlasnikovom kućom. [24]



Slika 12 Prikaz V2X tehnologije

Drugim riječima, tehnologija V2X omogućuje vozilima da komuniciraju s primjerice semaforima, naplatnim kućama i rampama i slično.

Kao što je već spomenuto na početku ovog rada, broj prometnih nesreća je iznimno velik, a prometne nesreće kao uzrok smrti su sve učestalije. V2X komunikacija može biti korištena u svrhu prevencije prometnih nesreća te unaprjeđenja sigurnosti na prometnicama. Istraživanja su pokazala da je pretpostavka kako bi tehnologija V2X spriječila više od 80% prometnih nesreća na način da upozorava na skrivene opasnosti na prometnicama koje u suprotnom ne bi mogle biti primijećene. [24]



*Slika 13 Prikaz upozorenja koja vozilo prima pomoću V2X tehnologije, [25]*

Ako se V2X kombinira s mrežom za prikupljanje i obradu podataka, rezultante bi mogle biti unaprjeđenje zaštite i očuvanja okoliša, poboljšanje javne sigurnosti, mobilnosti i produktivnosti. Također bi se optimiziralo usmjeravanje prometa, povećala bi se kvaliteta kontrole prometa i tok istog. V2V, odnosno komunikacija između vozila, upozorava na najčešće uzroke nesreća kako bi vozač mogao pravilno reagirati na vrijeme. Podatci između vozila mogu se dijeliti u radijusu od 800 metara. [24]

Jedna od temeljnih komponenti V2X tehnologije jest sigurnost. U ovom slučaju, standardni ćelijski mehanizam u kojem se krajnje točke odašiljača i prijarnika autentificiraju središnjom mrežom nije dostatan iz razloga što se podaci o sigurnosti i prometu u V2X emitiraju na „*ad hoc*“ način, odnosno mreža nije potrebna za slanje i primanje podataka. [26]

Drugim riječima, „*ad hoc*“ mreža je improvizirana, bežična mreža koja može izravno povezati uređaje, tj. bežična veza se može izravno postaviti na drugi uređaj bez potrebe za bežičnom prisutnom točkom ili usmjerivačem koji koristi standardni ćelijski mehanizam. S jedne strane, standardna mreža koristi središnji upravljački uređaj, primjerice usmjerivač, pri čemu mrežni podaci nakon dolaska do uređaja, na primjer telefona, i dalje neprekidno dopiru. S druge strane, „*ad hoc*“ mreža ravnomjerno šalje podatke unutar cijele strukture. [27]

Slijedom navedenog, ključne sigurnosne stavke značajne za V2X su:

1. Provjera autentičnosti i identifikacija – stavka kojom se osigurava da isključivo ovlašteni subjekti imaju pristup uslugama V2X tehnologije.
2. Integritet – bez ove stavke, sadržaj provjerene autentičnosti nije vjerodostojan, odnosno bez integriteta mu se ne može vjerovati.
3. Privatnost – iako je za otkrivanje i suzbijanje zlonamjernog ponašanja potrebna identifikacija, ipak je privatnost još jedna stavka koja je nužna za V2X, 3GPP onemogućava napadačima da prate korisnikov identitet ili osobne podatke.
4. Dostupnost – kako bi V2X osigurao pouzdanu uslugu korisniku, a s obzirom na vrstu emitiranja, dostupnost je jedna od važnih sigurnosnih stavki. [26]

Kako bi se V2X omogućile korisnicima, potrebna su dva sloja: komunikacijski sloj i sloj aplikacije kako bi se osiguralo cjelovito rješenje. Ovakav način je od izrazite važnosti u primjeni gore spomenutih sigurnosnih stavki. Kroz europski institut za telekomunikacijske norme - ETSI provedeno je nekoliko inicijativa za standardizaciju tehnologije V2X. Tehničke specifikacije ETSI TS 103 097 i ETSI TS 102 941 definiraju postupke sigurnosti i privatnosti.

Da bi se postigla standardizacija tehnologije V2X, ostvarena je suradnja ETSI-a i 3GPP konzorcija koja je grupacija, odnosno partnerski projekt koji okuplja odbore za standarde, regulatore i industrijska tijela na međunarodnoj razini. 3GPP i ETSI zajedno razvijaju tehničku specifikaciju 3GPPTS 33.185 kojom se definirala sigurnosna arhitektura i zahtjevi na različitim mrežama. Iako 3GPP i ETSI suradnja pružaju nužnu sigurnost, potrebna je



standardizacija na još višoj razini kako bi razvoj tehnologije V2X bio na razini razvoja praktične usluge. [26], [28]

Uvođenjem 5G mreže u tehnologiju V2X, spomenuta tehnologija moći će podržati:

1. Formiranje konvoja u kojem je razmak između vozila manji nego što bi bio u konvoju koji je isključivo oslonjen na sposobnosti ljudskih vozača, te će se tako puno uspješnije iskoristiti cestovni prostor, postić će se ušteda goriva, a povećati učinkovitost transporta robe.
2. Veoma precizno pozicioniranje i raspon za podršku automatiziranoj vožnji.
3. Veliku mrežnu propusnost i povezanost uz smanjenje kašnjenja što omogućuje razmjenu podataka prikupljenih uživo pute video slike ili putem lokalnih senzora.
4. Veliku propusnost za izgradnju dinamičkih lokalnih mapa koje se temelje na podacima prikupljenim putem senzora i fotoaparata, a takvi podatci mogu biti razmijenjeni s automobilima na križanjima i slično.
5. Vrlo nisku latenciju i veliku pouzdanost te vodove visoke gustoće. [29]

S obzirom na sve spomenuto, tehnologija V2X bit će točnija i pouzdanija u 5G mreži. Točnost pozicioniranja bit će reda veličine 2 cm, što će biti omogućeno izravnom vezom između susjednih vozila i infrastrukture. Zaključno, 5G mreža omogućiti će da tehnologija V2X učinkovitije koristi prometne mreže i infrastrukturu dok istovremeno povećava sigurnost na cestama tako što omogućuje:

1. Vođenje konvoja (prethodno spomenuto) – smanjuje potrošnju goriva, učinkovitije korištenje cestovnog prostora, itd.
2. Kooperativnu vožnju – V2X tehnologija i 5G mreža omogućiti će vozilima zajedničku suradnju s ciljem smanjenja smetnji uzorkovanih naglim kočenjem ili prestrojavanjem.
3. Upozorenja na radove – vozila mogu biti upozorena na radove na prometnicama kako bi usporili i izbjegli naglo kočenje.
4. Izbjegavanje sudara – svako vozilo će moći putem tehnologije V2X i 5G mreže odašiljati podatke o svom identitetu, položaju, brzini i smjeru te na taj način u vozila mogu biti upozorena na moguće sudare u stvarnom vremenu.

5. Upozoravanje na opasnosti – tehnologijom V2X može se proširiti horizont vozila te tako upozoriti na opasnosti iz slijepog kuta, nepreglednog zavoja, maglovitih prometnica i slično.
6. Sve autonomniju vožnju – sve prethodno navedene mogućnosti koje pružaju tehnologija V2X i 5G mreža omogućiti će da vozila postanu sve autonomnija.
7. Naplatu cestarine – kako bi se smanjilo zagušenje prometnica i onečišćenje okoliša, V2X i 5G mreža omogućiti će jednostavnije i brže plaćanje cestarina. [30]

## 4. MEĐUNARODNA PREPORUKA ZA OGRANIČENJE RAZINE ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

U RH temeljna su ograničenja i granične razine referentnih veličina elektromagnetskog polja propisane Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja. Navedena regulativa je u nadležnosti Ministarstva zdravstva, a bazirana je na međunarodnom ograničenju, točnije na Preporuci Vijeća Europske unije 1999/519/EC o ograničavanju izlaganja ljudi elektromagnetskim poljima (0 Hz – 300 GHz). [31]

Cilj Preporuke Vijeća Europske unije jest da osigura dosljednost u propisivanju zaštite javnog zdravlja od štetnih elektromagnetskih polja u cijeloj Europskoj Uniji (EU). S obzirom da je Hrvatska članica Europske Unije, u ovom radu usporediti će se međunarodna preporuka za ograničenje razine elektromagnetskih polja na međunarodnoj razini – razini EU s nacionalnom razinom, odnosno s Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja Ministarstva Zdravstva Republike Hrvatske. Preporuka Vijeća EU nije obvezna za države članice. Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske donijelo je Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja koji se temelji člankom 8. stavkom 2 te člankom 17. Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (»Narodne novine«, broj 91/10). [32]

Prilog 2. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih definira elektromagnetska polja kao vremenski promjenjiva električna i magnetska polja frekvencije do 300 GHz, a temeljne veličine elektromagnetskih polja kao veličine koje se izravno povezuju uz do sada potvrđene zdravstvene učinke elektromagnetskih polja i na koje se postavljaju temeljna ograničenja (Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, 2014). Dakle, zaštita zdravlja od elektromagnetskih polja podrazumijeva da temeljna ograničenja ne smiju biti prekoračena. Ovakva ograničenja postavljena su na slijedeće fizikalne veličine: unutarnje (inducirano) električno polje, specifičnu gustoću apsorbirane snage, specifičnu gustoću apsorbirane energije te gustoću snage. [32]

Nadalje, prilog 2. definira referentne veličine kao mjerljive veličine čijim nadzorom se posredno osigurava zadovoljenje temeljnih ograničenja, a kao referentne veličine mogu se koristiti jakost električnog polja, gustoća magnetskog toka, dodirna struja i gustoća snage (ekvivalentnoga ravnog vala). [32]

Kako bi prethodne definicije bile što jasnije potrebno je istaknuti i definicije pojmova već spomenutih fizikalnih veličina. Unutarnje ili inducirano električko polje ( $E_i$ ), Člankom 2.

Pravilnika i zaštiti od elektromagnetskih polja jest definirano kao polje inducirano u biološkom tkivu uslijed vanjskog električnog i magnetskog polja generiranog od izvora neionizirajućeg zračenja te je njegova veličina vektorska i izražena je u voltima po metru (V/m). [32]

Specifična gustoća apsorbirane energije (SA) Pravilnik definira kao apsorbiranu energiju elektromagnetskog vala po jedinici mase biološkog tkiva koja se izražava u džulima po kilogramu (J/kg) i ona se rabi kao temeljna veličina kod vremenski promjenjivih elektromagnetskih polja. [32]

Idući pojam koji definira Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja jest specifična gustoća apsorbirane snage (SAR) – mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu (W/kg) koja koristi kao temeljna veličina u frekvencijskom području od 100 kHz do 10 GHz. [32]

Slijedeći definirani pojam u Pravilniku jest dodirna struja koja se izražava u miliamperima (mA) i koristi se kao referentna veličina u frekvencijskom području od 110 MHz, a definirana je kao struja koja teče tijekom dodira ljudskog tijela s vodljivim objektom u elektromagnetskom polju. [32]

Zatim je definirana gustoća snage (S) koja je omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala a izražava se u vatima po metru kvadratnom (W/m<sup>2</sup>). Gustoća snage može se koristiti kao referentna veličina za frekvencijsko područje od 10 MHz do 300 GHz, ali koristi kao i temeljna veličina od 10 GHz do 300 GHz. Pravilnikom je također definirana i jakost električnog polja (E) kao sila na jedinični električni naboj u određenoj točki, a veličina električnog polja izražava se u voltima po metru (V/m) te je ona vektorska veličina. [32]

Dalje Pravilnik definira jakost magnetskog polja (H) kao silu na naboj u gibanju čija je veličina isto vektorska, a izražena je u amperima po metru (A/m). [32]

Još jedan od pojmova definiranih u Pravilniku jest magnetska indukcija ili gustoća magnetskog toka (B) koja predstavlja vrijednost magnetskog toka koji prolazi jediničnom površinom postavljenom okomito na smjer magnetskog toka te je kao i kod prethodnih pojmova, ona vektorska veličina, ali se izražava u teslama (T). [32]

Efektivna izračena snaga (ERP) definirana je kao umnožak snage privedene anteni i dobitka antene u (danom) smjeru glavne latice u odnosu na poluvalni dipol, a efektivna

izotropna zračena snaga (EIRP) kao umnožak snage privedene anteni i dobitka antene u smjeru glavne latice u odnosu na izotropni radijator. [32]

Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja u članku 2. stavka 1. definiran je i izvor niskofrekvencijskog elektromagnetskog polja koji predstavlja svaki objekt elektroenergetskog sustava (kao npr. elektrana transformatorska stanica, elektroenergetski vod, rasklopno postrojenje) nazivnog napona većeg od 1 kV, element ili postrojenje električne vuče ili bilo koji drugi uređaj, sustav ili objekt koji svoj rad temelji na stvaranju elektromagnetskog polja frekvencije do uključivo 100 kHz. [32]

S druge strane, izvor visokofrekvencijskog elektromagnetskog polja definiran je kao uređaj ili objekt koji stvara elektromagnetsko polje frekvencije od 100 kHz do uključivo 300 GHz. Visokofrekvencijskim izvorom ne smatra se uređaj predviđen za usmjerenu nepokretnu mikrovalnu vezu, satelitsku vezu, te sve nepokretne radijske postaje efektivne izračene snage manje od 6 W, koje na istom mjestu odašilju manje od 800 sati godišnje, kao i nepokretne amaterske radijske postaje efektivne izračene snage manje od 100 W. [32]

Nadzemni vod ili podzemni kabel za prijenos ili distribuciju električne energije napona većeg od 1 kV odnosno vod nižeg napona ako njime protječe struja od najmanje 1500A definicija je elektroenergetskog voda koji je veza između dva postrojenja iste naponske razine. [32]

Prilog 2. zatim definira nepokretni izvor elektromagnetskog polja koji ima određeno stalno mjesto djelovanja te ističe kako se u njih ne ubrajaju ugradbeni kućanski aparati kao što je, primjerice, mikrovalna pećnica. Jedna vrsta nepokretnog izvora je tzv. novi izvor koji je Pravilnikom definiran kao nepokretni izvor elektromagnetskog polja koji na dan stupanja na snagu ovoga Pravilnika nije imao pravovaljanu dozvolu za rad prema propisima koji su vrijedili prije stupanja na snagu ovoga Pravilnika, a također se novim smatra svaki izvor elektromagnetskog polja nakon rekonstrukcije. Nasuprot novom izvoru, jest zatečeni izvor koji je također nepokretni izvor elektromagnetskog polja no isti je na dan stupanja na snagu ovoga Pravilnika imao pravovaljanu dozvolu za rad prema propisima koji su vrijedili prije stupanja na snagu ovoga Pravilnika. [32]

Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja definirana su i javna područja koja predstavljaju „mjestu u urbanim i ruralnim sredinama na koja nije ograničen slobodan pristup općoj populaciji, a nisu u području povećane osjetljivosti odnosno profesionalne izloženosti. [32]

Područja povećane osjetljivosti su zgrade stambene i poslovne namjene, škole, ustanove predškolskog odgoja, rodilišta, bolnice, domovi za starije i nemoćne, smještajni turistički objekti te dječja igrališta i neizgrađene površine namijenjene (prema urbanističkom planu) za gore navedene objekte. [32]

Područja profesionalne izloženosti su područja u kojima radnik, koji obavlja poslove vezane za izvore elektromagnetskih polja može biti izložen elektromagnetskim poljima 40 sati tjedno pri čemu je radnik upoznat s mogućnošću izlaganja, a njegova izloženost elektromagnetskim poljima je kontrolirana. Važno je istaknuti stavak 24. članka 2. koji glasi: „Upisnik izvora elektromagnetskih polja jest baza podataka o izvorima elektromagnetskih polja na koje se odnose odredbe ovoga Pravilnika, s podacima o korisniku izvora elektromagnetskih polja, općim podacima o izvorima (proizvođač, naziv, tip, model, serijski broj, godina proizvodnje i namjena), tehničkim podacima o izvorima (nazivna snaga, nazivni napon, predvidivo opterećenje, frekvencijsko područje rada i sl.), adresom lokacije na kojoj je izvor smješten i mišljenje ovlaštene pravne osobe o izvoru elektromagnetskih polja“. [32]

Člankom 4. priloga 2. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja definirana su temeljna ograničenja koja su time postavljena na iduće veličine s obzirom na frekvencije:

- a) unutarnje (inducirano) električno polje od 1 Hz do 10 MHz,
- b) specifična gustoća apsorbirane snage od 100 kHz do 10 GHz,
- c) gustoća snage od 10 GHz do 300 GHz. [32]

Prethodno su definirani pojmovi javnog područja, područja povećane osjetljivosti i područja profesionalne izloženosti. U prilogu 3. Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja definirane su granične razine referentnih veličina. Tako je definirano da referentne veličine na području profesionalne izloženosti ne smiju prelaziti ograničenja navedena u Prilogu 2., Tablici 1. koji je otisnut uz ovaj Pravilnik i čini njegov sastavni dio, odnosno gore naveden članak 4. priloga 2. [32]

Nadalje se ističe da ukoliko je boravak ljudi u području profesionalne izloženosti kontroliran i vremenski ograničen, da razine elektromagnetskog polja nepokretnog izvora za pojedinačnu frekvenciju smiju prelaziti granične razine navedene u Prilogu 2. Tablici 1. ovoga Pravilnika, i to u slučaju ako su mjera dopuštenog prekoračenja ovih razina i maksimalno dopušteno trajanje boravka utvrđeni posebnim propisom. [32]

Isto tako, ukoliko je frekvencijsko područje na području profesionalne izloženosti iznad 10 MHz razine vršne gustoće snage impulsnog elektromagnetskog ravnog vala za pojedinačnu frekvenciju za vrijeme srednje vrijednosti širine impulsa ne smiju prelaziti 1000 puta granične razine navedene u Prilogu 2. Tablici 1. ovoga Pravilnika. Nakon puštanja izvora elektromagnetskog polja u rad provodi se kontrola istog pri čemu mjerenja isključivo mogu biti provedena od strane tvrtki koje su ovlaštene od Ministarstva zdravstva. Prvo mjerenje mora biti obavljeno odmah nakon puštanja izvora elektromagnetskog polja u rad te se njime mora dokazati da su stvarne razine polja unutar propisanih ograničenja. Ukoliko su ograničenja unutar propisanih vrijednosti, Ministarstvo zdravstva izdaje odobrenje za rad izvora. Nakon prvotnog mjerenja moraju se provoditi redovne kontrole rada izvora elektromagnetskog polja, te je nužno da vlasnik istog svake dvije godine isporuči rezultate novih mjerenja Ministarstvu zdravstva. [32], [33]

Kao i kod područja profesionalne izloženosti, na javnom području i području povećane osjetljivosti također vršne gustoće snage impulsnog elektromagnetskog ravnog vala za pojedinačnu frekvenciju za vrijeme srednje vrijednosti širine impulsa ne smiju prelaziti 1000 puta granične razine navedene u Prilogu 2. Tablici 2. ovoga Pravilnika odnosno razina elektromagnetskog polja za pojedinačnu frekvenciju ne smije prelaziti granične razine navedene u Prilogu 2. Tablici 2. ovoga Pravilnika. [32]

Kako bi Pravilnik bio što sveobuhvatniji, definirane su i granične razine istosmjernih magnetskih polja na području medicine te one ne smiju prelaziti vrijednost od 0,4 T za povećanu osjetljivost, a za profesionalnu izloženost gustoće magnetskog toka ne smiju prelaziti vrijednost od 2 T za glavu i 8 T za udove tijela. Svakako je važno napomenuti da mjerenja razina takvih magnetskih polja mora provesti ovlaštena pravna osoba za poslove zaštite od elektromagnetskih zračenja vodeći se Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja te moraju biti akreditirane. [32]

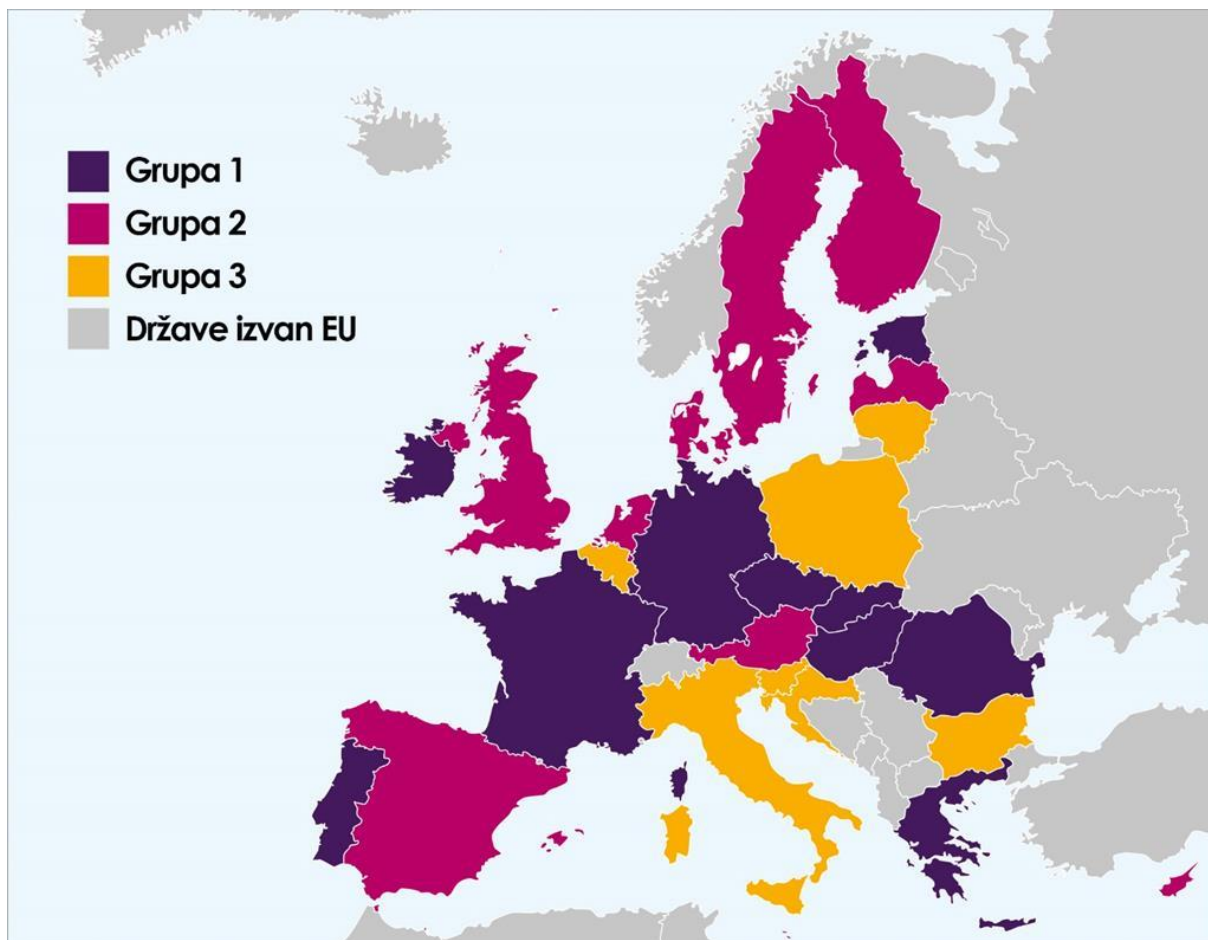
S obzirom na sve navedeno, Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskog polja, iako izdan od strane Ministarstva zdravstva, predstavlja i međunarodnu preporuku zaštite od elektromagnetskih polja jer se temelji na Preporuci Vijeća Europske unije 1999/519/EC o ograničavanju izlaganja ljudi elektromagnetskim poljima (0 Hz-300GHz). U tablici 3. prikazane su mjere graničnih razina propisanih Preporukom Vijeća EU implementiranih po državama kako bi se što jasnije vidjela razlika u prihvaćanju i implementacije spomenute Preporuke.

Tablica 4 Prikaz mjera graničnih razina propisanih Preporukom Vijeća EU implementiranih po državama, [31]

Država	Primijenjene granične razine strože od Preporuke	Primijenjene granične razine identične s Preporukom	Primijenjene granične razine blaže od Preporuke
AT - Austrija		x	
BE - Belgija	x <sup>a</sup>		
BG - Bugarska	x		
CH - Švicarska	x		
CZ - Češka		x	
CY - Cipar		x	
DE - Njemačka		x	
DK - Danska			x
EE - Estonija		x	
ES - Španjolska		x	
FI - Finska		x	
FR - Francuska		x	
GR - Grčka	x <sup>a</sup>		
HU - Mađarska		x	
IE - Irska		x	
IT - Italija	x		
LT - Litva	x		
LU - Luxemburg	x		
LV - Latvija		x	
MT - Malta		x	
NL - Nizozemska	x <sup>a</sup>		
PL - Poljska	x		
PT - Portugal		x	
RO - Rumunjska		x	
SE - Švedska		x	
SI - Slovenija	x		
SK - Slovačka		x	
UK – Ujedinjeno Kraljevstvo		x	
HR - Hrvatska	x		
x <sup>a</sup> – ne odnosi se na cijelo frekventijsko područje			



U Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja, Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske uveo je dodatno područje zaštite u usporedbi na Preporuku Vijeća EU, a to je područje povećane osjetljivosti.



*Slika 14 Prikaz ograničenja graničnih vrijednosti po zemljama, [34]*

Na slici se jasno vidi da postoje tri grupe zemalja s obzirom na implementaciju preporučenih graničnih vrijednosti elektromagnetskih polja koje je izdalo vijeće EU. Grupa 1 prikazana je tamno ljubičastom bojom te predstavlja sve zemlje koje su usvojile ograničenja propisana Preporukom Vijeća Europske Unije. Grupa pod brojem 2 prikazana je jarkom ružičastom bojom i označava zemlje koje nemaju ograničenja vrijednosti elektromagnetskih polja ili su vrijednosti manje od Preporuke EU. Posljednja grupa, grupa 3, istaknuta je žutom bojom, a u nju su svrstane sve zemlje koje su implementirale stroža ograničenja od onih u Preporuci. Dakle, Republika Hrvatska spada u kategoriju zemalja koje su propisale stroža ograničenja utjecaja elektromagnetskih polja i to iz razloga što je dodano područje veće osjetljivosti u Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (Nacionalni institut za javno

zdravlje i okoliš (eng. *National Institute for Public Health and the Environment – RIVM*), Nizozemska).

U skladu s vrijednostima dopuštenih razina elektromagnetskih polja koje je propisalo Ministarstvo Zdravstva Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja, kontrolu uporabe radiofrekvencijskog spektra u Hrvatskoj provodi Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti - HAKOM u čiju nadležnost spadaju i tehnologije mreže pete generacije. HAKOM provjerava jesu li usklađene dopuštene razine elektromagnetskih polja i postavljene bazne postaje. Zatim, HAKOM provodi kontrolna mjerenja na terenu ukoliko postoji sumnja da razine na određenoj baznoj postaji nisu u skladu sa Pravilnikom. [31]

Kada se govori o međunarodnoj preporuci za zaštitu od elektromagnetskih polja, bitno je istaknuti kako je 2015. godine Znanstveni odbor za zdravstvene rizike u nastajanju i novo identificirane zdravstvene rizike (SCENIHR) izdao mišljenje o izvorima izloženosti elektromagnetskim poljima i učinaka istih na zdravlje. Izdano mišljenje SCENIHR-a skladno je Preporuci Vijeća EU u kojima se ograničava vrijednost utjecaja elektromagnetskih polja do 300 GHz. [35]

Europski Parlament i Vijeće Europske Unije su 2018. godine usvojili Europski zakonik o elektroničkim komunikacijama (EECC) u kojem se poziva na dosljednost i predvidljivost unutar EU u propisanim pravilnicima zaštite javnog zdravlja prilikom uporabe radiofrekvencijskog spektra i osiguravanje ujednačenijih uvjeta uvođenja 5G mreže u EU s temeljem na Preporuci Vijeća Europske Unije o zaštiti od elektromagnetskih polja. S obzirom da se u 5G mrežama nastoji smanjiti snagu ćelija i koriste se manje ćelije u usporedbi s prethodnim generacijama, pretpostavka je da će elektromagnetska zračenja biti manja. [35]

Komisija Europske Unije uključena je u raspravu od 5G mrežama s državama članica koja se odvija unutar Odbora za komunikacije – COCOM-u. Rasprava teži postići pregled pristupa za zaštitu od neionizirajućeg zračenja. [35]

## 5. METODOLOGIJA IZRAČUNA JAKOSTI ELEKTRIČNIH POLJA

Kako bi se izračunala jakost električnog polja potrebni su parametri: snaga odašiljačke i prijamne antene, dobici odašiljačke i prijemne antene, udaljenost od same antene te valna duljina . Jakost električnog polja računati će se sa i bez dielektrične konstante. Naime, kasnije u radu prikazati će se rezultanta u obliku udaljenosti pomoću izraza za dielektričnu konstantu koja će predstavljati slučaj u kojemu se javlja refleksija signala o promatran materijal.

U ovom će se poglavlju kronološki jednadžbama prikazati kako se dobila jednadžba za izračunavanje jakosti električnog polja. Početna formula prikazuje tok gustoće snage:

$$S = \frac{E^2}{Z_0} \quad (1)$$

$S$  – gustoća snage

$E$  – jakost električnog polja

$Z_0$  – impedancija slobodnog prostora

Kada se izjednači formula s formulom gustoću snage točkastog izvora dobije se:

$$\frac{E^2}{Z_0} = \frac{P_r * G}{4\pi r^2} \quad (2)$$

$P_r$  – snaga prijemne antene

$G$  – dobitak antene

$r$  – udaljenost.

$$E^2 = \frac{P_r * G * Z_0}{4\pi r^2} \quad (3)$$

$$E = \sqrt{\frac{P_r * G * Z_0}{4\pi r^2}} \quad (4)$$

$$E = \sqrt{\frac{P_r * G * 377}{4\pi r^2}} \quad (5)$$

Iz navedenog slijedi da je jakost električnog polja izražena :

$$E = \frac{\sqrt{30 * P_r * G}}{r} \quad (6)$$

U daljnjem postupku koristit će se Friisova jednadžba. Oblik jednadžbe koji se koristi za izračun ulazne snage signala prijamne i odašiljačke antene je:

$$P_r = P_t * G_r * G_t * \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \quad (7)$$

gdje je:

$P_r$  – snaga prijemne antene

$P_t$  – snaga odašiljačke antene

$G_r$  – dobitak prijamne antene

$G_t$  – dobitak odašiljačke antene

$\lambda$  – valna duljina

$r$  – udaljenost.

U formulu za izračun jakosti električnog polja uvrstit ćemo Friisovu jednadžbu za ulaznu snagu prijemne antene.

$$E = \frac{\sqrt{30 * P_r * G}}{r} \quad (8)$$

$$E = \frac{\sqrt{30 * \left[ P_t * G_r * G_t * \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \right] * G_t}}{r} \quad (9)$$

Iz prethodno navedenog se izvela formula za izračun jakosti električnog polja pomoću Friisove jednadžbe i ona glasi:

$$E = \frac{\sqrt{30 * P_t * G_t^2 * \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2}}{r} \quad (10)$$

Kako bi se izračunala jakost električnog polja s dielektričnom konstantom prvo će se opisati izračun same dielektrične konstante. Ona se računa kao omjer dielektrične konstante materijala i dielektrične konstante vakuuma.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (11)$$

$\varepsilon_r$  – relativna dielektrična konstanta

$\varepsilon$  – permetivnost promatranog materijala

$\varepsilon_0$  – permetivnost slobdnog prostora.

Jakost električnog polja se dielektričnom konstantom jest umnožak jakosti električnog polja bez dielektrične konstante s iznosom dielektrične konstante promatranog materijala.

$$\varepsilon_r = \frac{E_0}{E} \quad (12)$$

$$E = \varepsilon_r * E_0 \quad (13)$$

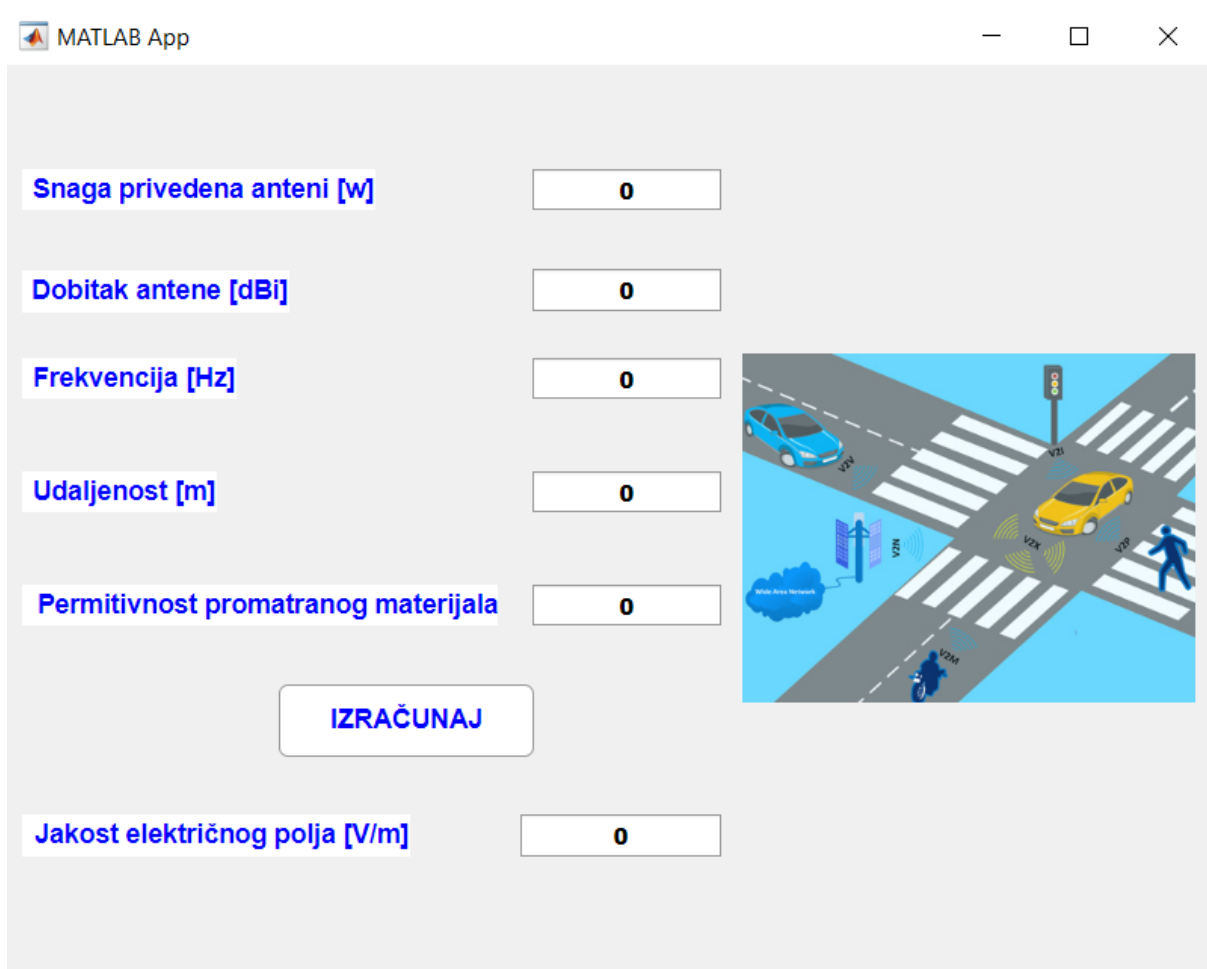
$E$  – jakost el. polja sa dielektrikom

$E_0$  – jakost el. polja bez dielektrika

$\varepsilon_r$  – relativna dielektrična konstanta.

## 6. PROGRAM ZA IZRAČUN JAKOSTI POLJA OKO BAZNE STANICE PRI KORIŠTENJU TEHNOLOGIJE V2X

Program za proračun jakosti električnog polja u okolini baznih postaja je napravljen u programskom paketu Matlab. Kako bi se započelo korištenje programa, potrebno je u MATLAB Command Window pozvati skriptu naredbom `markovic_app.mlapp`. Zatim će se otvoriti korisničko sučelje programa rađeno unutar GUI-a (eng. *graphical user interface*) što je prikazano u slici 15.



Slika 15 Prikaz korisničkog sučelja

Na korisničkom sučelju prikazano je pet parametara pomoću kojih se dolazi do konačnog rješenja u obliku iznosa jakosti električnog polja u okolini bazne postaje. Prikazani parametri koji sačinjavaju korisničko sučelje su: snaga antene, dobitak antene, frekvencija te udaljenost. Pošto će se, naknadno u radu, promatrati više prometnih situacija (koje će biti

proizvoljne), potrebno je priložiti parametar permitivnosti promatranog materijala tj. dielektričnu konstantu za promatran materijal.

Za potrebe računanja jakosti električnog polja oko bazne stanice najprije moramo spomenuti antenu koju koristi bazna stanica. Kupolska antena PE51168 tvrtke Pasternack jest usmjerena antena za radio frekvencije. Višepojasna stropna kupolasta antena koristi frekvencijski raspon od 698 MHz do 960 MHz, 1,71 GHz do 2,17 GHz, 2,3 GHz do 2,7 GHz, 4,9 GHz do 6 GHz. Antena za stropni nosač koristi ženski N konektor i predviđena je za ulaz do 50 W. [36]



Slika 16 Kupolasta antena, [36]

Tablica 5 Specifikacije antene, [36]

<b>Tip antene</b>	Kupolasta
<b>Polarizacija</b>	Vertikalna
<b>Minimalna frekvencija</b>	698 MHz
<b>Maksimalna frekvencija</b>	6 GHz
<b>Serijski konektor</b>	N
<b>Spol konektora</b>	Ženski

## 6.1. IZRAČUNI JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA FREKVENCIJSKA PODRUČJA

Niže navedeno prikazan je isječak programskog koda koji sadrži potrebne parametre i formule za izračun jakosti električnog polja u različitim frekvencijskim područjima. Formule su izvedene u prethodnom poglavlju te su implementirane u programski alat Matlab. Korištena je *if* petlja koja predstavlja uvjet. Naime, u proizvoljnim prometnim situacijama koristit će se dielektrična konstanta koja predstavlja razliku u iznosima jakosti električnog polja zbog pojave refleksije signala. Ukoliko se u korisničko sučelje unese da je dielektrična konstanta 0, program generira iznos jakosti električnog polja bez parametra dielektrične konstante, a ukoliko se unese iznos dielektrične konstante koji je različit od 0, sučelje prikazuje jakost električnog polja s dielektričnom konstantom. Također su se u generirani kod unijele vrijednosti brzine svjetlosti i dielektrične konstante vakuuma.

```
function IZRAUNAJButtonPushed(app, event)
P = app.SnagaanteneNewEditField.Value;
G = app.DobitakanteneDBiEditField.Value;
F = app.FrekvencijaHzEditField.Value;
r = app.UdaljenostmEditField.Value;
e = app.PermitivnostpromatranogmaterijalaEditField.Value;
e0 = 1;
C = 3 * 10^8;
L = C/F;
E1 = sqrt(30*P*G^2*(L/(4*3.14*r))^2)/r;
er = e/e0;
E2 = er*E1;
if e == 0
E1 = sqrt(30*P*G^2*(L/(4*3.14*r))^2)/r;
E1;
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.Value = E1;
else
er = e/e0;
E2 = er*E1;
E2;
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.Value = E2;
end
```

5G antene djeluju u frekvencijskom području od 450 MHz do 6 GHz te u područjima većim od 24,5 GHz. Za frekvencijska područja veća od 24,5 GHz ne postoje podaci o antenama, točnije o specifikaciji istih. Za praktični rad koristile su se frekvencije: 450 MHz, 1 GHz, 3,5 GHz, 5,905 GHz te 6 GHz. Na slici 17 prikazano je korisničko sučelje s unesenim iznosima parametara. Snaga odašiljača iznosi 50 W, dobitak antene iznosi 6 dBi, frekvencija



450 MHz te udaljenost 1 metar. Jakost električnog polja za prethodno navedenu frekvenciju iznosi 12,33 V/m.

Snaga privedena anteni [w]	50
Dobitak antene [dBi]	6
Frekvencija [Hz]	4.5e+08
Udaljenost [m]	1
Permitivnost promatranog materijala	0
<b>IZRAČUNAJ</b>	
Jakost električnog polja [V/m]	12.33

Slika 17 Prikaz korisničkog sučelja s unesenim iznosima parametara

Zbog jasnijeg prikaza iznosa jakosti električnog polja pri različitim frekvencijama iznosi su prikazani u tablici 6. Pošto je zadano da se izračunava jakost električnog polja u okolini bazne stanice, unesena su dva različita iznosa za udaljenosti: 1 metar i 10 metara. U navedenoj tablici jasno se iščitava kako se jakost električnog polja smanjuje ovisno o iznosu frekvencije. Pri frekvenciji od 1 GHz jakost električnog polja iznosi 5,55 V/m, dok pri frekvenciji od 6 GHz ono iznosi 0,9521 V/m. Također je vidljiva razlika uspoređujući iznose za udaljenost od 1 metra te za udaljenosti od 10 metara. Tako dakle iznos električnog polja na udaljenosti od 1 metra pri frekvenciji od 3,5 GHz iznosi 5,55 V/m, dok iznos jakosti električnog polja na udaljenosti od 10 metara pri prethodno navedenoj frekvenciji iznosi 0,001586 V/m.

Tablica 6 Prikaz iznosa jakosti električnog polja za različita frekvencijska područja i udaljenosti

FREKVENCIJA	IZNOS JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA NA UDALJENOSTI OD 1 m	IZNOS JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA NA UDALJENOSTI O 10 m
450 MHz	12,33 V/m	0,1233 V/m
1 GHz	5,55 V/m	0,0555 V/m
3,5 GHz	1,586 V/m	0,01586 V/m
5,905 GHz	0,94 V/m	0,0094 V/m
6 GHz	0,9251 V/m	0,009251 V/m

## 6.2. IZRAČUNI JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA FREKVENCIJSKA PODRUČJA S DIELEKTRIKOM

U ovom poglavlju uzima se u obzir parametar dielektrične konstante koja u suštini predstavlja pojavu refleksije signala. Promatrani prometni scenarij je model V2N (*Vehicle to Network*) što predstavlja komunikaciju vozila s baznom stanicom. Na slici 20 prikazan je već spomenuti programski kod u Matlab-u. Naime, u korisničko sučelje unijet će se vrijednost dielektrične konstante betona koja iznosi 4,5. Pri pojavi refleksije signala iznos jakosti električnog polja se povećava upravo za vrijednost dielektrične konstante. Uzet je u obzir scenarij u kojemu se fiktivno vozilo nalazi u blizini stambene zgrade.

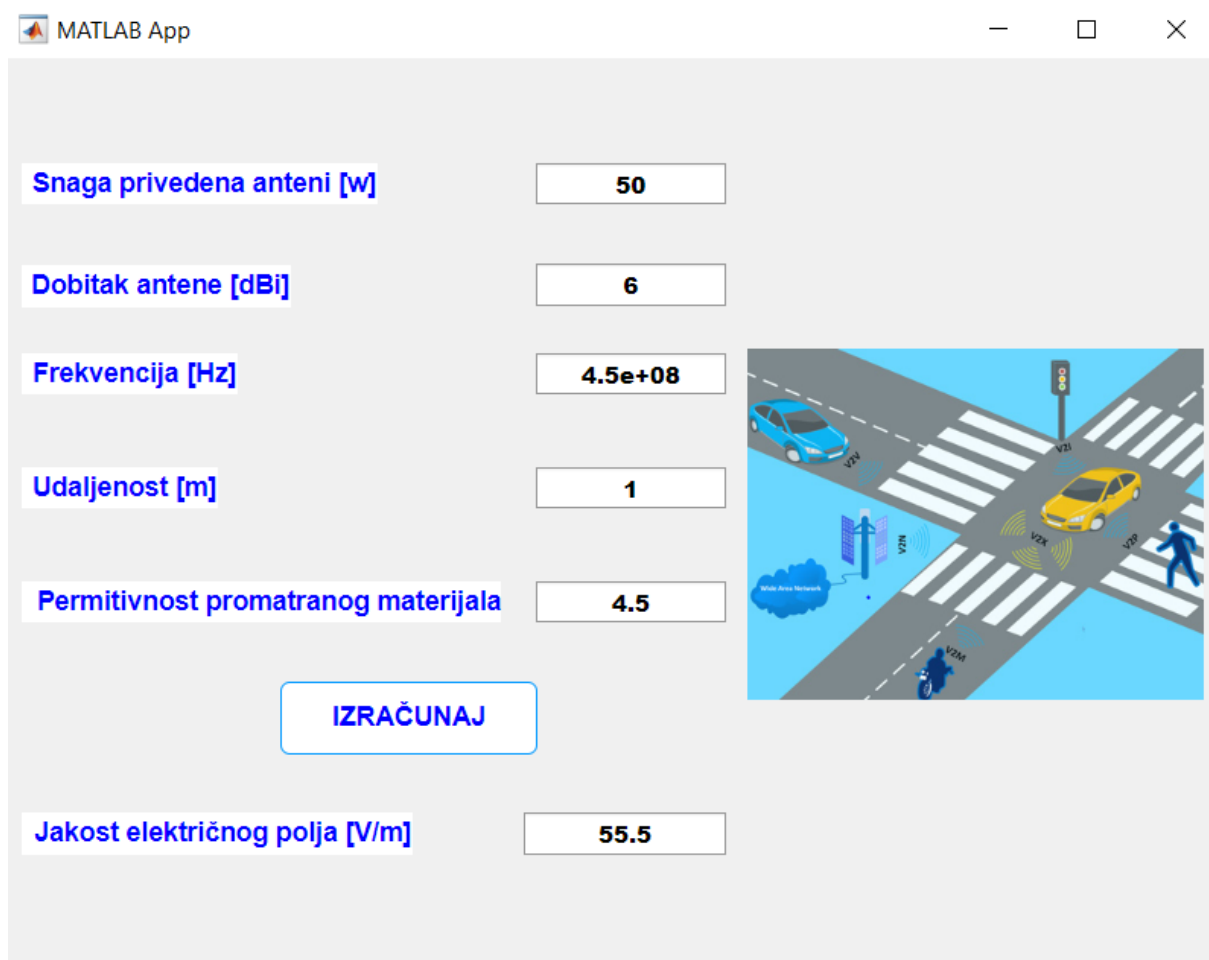
```
function IZRAUNAJButtonPushed(app, event)
P = app.SnagaanteneNewEditField.Value;
G = app.DobitakantenedBiEditField.Value;
F = app.FrekvencijaHzEditField.Value;
r = app.UdaljenostmEditField.Value;
e = app.PermitivnostpromatranogmaterijalaEditField.Value;
e0 = 1;
C = 3 * 10^8;
L = C/F;
E1 = sqrt(30*P*G^2*(L/(4*3.14*r))^2)/r;
er = e/e0;
E2 = er*E1;
if e == 0
E1 = sqrt(30*P*G^2*(L/(4*3.14*r))^2)/r;
E1;
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.Value = E1;
else
```

```

er = e/e0;
E2 = er*E1;
E2;
app.JakostelegtrinogpoljaVmEditField.Value = E2;
end

```

Na slici 21 prikazano je korisničko sučelje s unesenim iznosima parametara. Snaga antene iznosi 50 W, dobitak antene iznosi 6 dBi, frekvencija 450 MHz te udaljenost 1 metar. Također je unesen iznos dielektrične konstante betona u vrijednosti od 4,5. Jakost električnog polja za prethodno navedenu frekvenciju iznosi 55,5 V/m.



Slika 18 Prikaz korisničkog sučelja s unesenim iznosima parametara (s dielektrikom)

Zbog jasnijeg prikaza iznosa jakosti električnog polja s dielektrikom pri različitim frekvencijama iznosi su prikazani u tablici 6. U navedenoj tablici jasno se iščitava kako se jakost električnog polja smanjuje ovisno o iznosu frekvencije. Pri frekvenciji od 1 GHz jakost

električnog polja iznosi 24,98 V/m, dok pri frekvenciji od 6 GHz ono iznosi 4,16 V/m. Također je vidljiva razlika uspoređujući iznose za udaljenost od 1 metra te za udaljenosti od 10 metara. Tako dakle iznos električnog polja na udaljenosti od 1 metra pri frekvenciji od 3,5 GHz iznosi 7,14 V/m, dok iznos jakosti električnog polja na udaljenosti od 10 metara pri prethodno navedenoj frekvenciji iznosi 0,07 V/m.

Tablica 7 Prikaz iznosa jakosti električnog polja s dielektrikom za različita frekvencijska područja i udaljenosti

FREKVENCIJA	IZNOS JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA NA UDALJENOSTI OD 1 m	IZNOS JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA NA UDALJENOSTI OD 10 m
450 MHz	55,5 V/m	0,555 V/m
1 GHz	24,98 V/m	0,2498 V/m
3,5 GHz	7,136 V/m	0,07136 V/m
5,905 GHz	4,23 V/m	0,0423 V/m
6 GHz	4,163 V/m	0,04163 V/m

Zaključno, potvrđena je činjenica da se iznosi jakosti električnog polja smanjuju s povećanjem frekvencije što proizlazi iz formule gdje se u nazivniku nalazi frekvencija. Također je pokazano da se uvođenjem parametra dielektrične konstante povećava iznos jakosti električnog polja pri određenim frekvencijskim područjima. Udaljavanjem od bazne stanice električno polje se iznosom uvelike smanjuje.

## 7. ZAKLJUČAK

Određivanje lokacije prijemnika na Zemlji jedno je od važnijih komponenata tehnologije u privatnom i poslovnom životu ljudi. Konstantnim razvojem tehnologije javljaju se sve veći brojevi zahtjeva za bržim pristupom informacijama. Uvođenje 5G mreže znatno će utjecati i na korištenje tehnologije V2X što sa sobom nosi razne pozitivne promjene u strukturi prometa i određivanju lokacija. Iako će, primjerice, pozitivno utjecati na sigurnost u prometu i potencijalno smanjiti zagušenost, tehnologija V2X i 5G mreža mora se pokazati ne štetnom za ljudsko zdravlje.

Detaljnim prikazom Preporuke o zaštiti od elektromagnetskih zračenja Vijeća Europske Unije i implementacijom na razini Republike Hrvatske ustanovljeno je daje utjecaj elektromagnetskog zračenja ograničen na 0 – 300GHz. U Republici Hrvatskoj jakost električnog polja ograničena je na 16,8 V/m. Analizom jakosti električnog polja koristeći dva scenarija, prvi scenariji jest izračun jakosti električnog polja bez dielektrika i drugi izračun jakosti električnog polja s dielektrikom, dokazano je da je jakost električnog polja znatno ispod ograničenja.

## Popis literature

- [1] Cui X, Gulliver T, Li J, Zhang H. Vehicle Positioning Using 5G Millimeter-Wave Systems. IEEE Access. 2016;4(2169-3536):6964-6973.
- [2] World Health Organization. Preuzeto sa: <https://www.who.int> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [3] Zrinjski M, Barković Đ, Matika K. Razvoj i modernizacija GNSS-a. Geodetski list. 2019;73(96)(1):45-65.
- [4] The European Space Agency. What is Galileo? Esa.int. 2020. Preuzeto sa: [https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo) [Pristupljeno: kolovoz 2020]
- [5] European Global Navigation Satellite System Agency. What is GNSS? Preuzeto sa: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss> [Pristupljeno: kolovoz 2020]
- [6] Xiaochun L. Update On Beidou Navigation Satellite System And PNT System. Stanford 2019 PNT Symposium, 2019. Preuzeto sa: [http://web.stanford.edu/group/scpnt/pnt/PNT19/presentation\\_files/I10-Lu-Beidou\\_PNT\\_Update.pdf](http://web.stanford.edu/group/scpnt/pnt/PNT19/presentation_files/I10-Lu-Beidou_PNT_Update.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [7] Dawoud S. GNSS principles and comparison. Potsdam University, 2012.
- [8] Kaderka K. 30 Years Of Success: The Monitor Station Network, UT Research Showcase. The University of Texas at Austin, 2016.
- [9] Hagopian C. What Are The 3 Segments Of GPS Systems? Allaboutgps101.blogspot.com, 2010. Preuzeto sa: <http://allaboutgps101.blogspot.com/2010/12/what-are-3-segments-of-gps-systems.html#:~:text=3%20Segments%20of%20GPS> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [10] Roulo C. What on Earth is the Global Positioning System? U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE. Preuzeto sa: <https://www.defense.gov/Explore/Features/story/Article/1674004/what-on-earth-is-the-global-positioning-system/> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [11] Hurley S. GPS. [Internet]. Explaining Science, 2017. Preuzeto sa: <https://explainingscience.org/2017/01/29/gps/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [12] Kos T, Grgić M, Krile S. Hiperbolni i satelitski sustavi za navigaciju. Naše more : znanstveni časopis za more i pomorstvo, 2020. 51, 5(6): 189-199.
- [13] Sarkar, S. and Bose, A., 2017. Lifetime Performances of Modernized GLONASS Satellites: A Review. Artificial Satellites, 52(4), pp.85-97.

- [14] Rutkowski R. What's The Differences Between the 5 GNSS Constellations? BLiley Technologies, 2019. Preuzeto sa: <https://blog.bliley.com/the-differences-between-the-5-gnss-satellite-network-constellations> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [15] GLONASS Technology. Rfmw.em.keysight.com. Preuzeto sa: <http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/n7609b/Content/RT/GLONASS%20Technology.htm#:~:text=For%20the%20new%20GLONASS-K1%20satellites,%20CDMA%20signals%20will%20also%20be> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [16] Romac D, Vučica P. Galileo. Ekscentar. 2003, (5):19-29.
- [17] Bofeng L, Haibo G, Maorong G, Liangwei N, Yunzhong S, Schuh H. LEO enhanced Global Navigation Satellite System (LeGNSS) for real-time precise positioning services. Advances in Space Research. 2018,63, 73–93.
- [18] Kaplan D. E, Hegarty J. C. Understanding GPS/GNSS: Principles and applications. Artech House, Boston; 2017.
- [19] European Commision. Što možemo očekivati od nove 5G tehnologije? Preuzeto sa: [https://ec.europa.eu/croatia/content/what\\_can\\_we\\_expect\\_from\\_new\\_5G\\_technology\\_hr](https://ec.europa.eu/croatia/content/what_can_we_expect_from_new_5G_technology_hr) [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [20] Rodriguez, J. Fundamentals Of 5G Mobile Networks. John Wiley & Sons, Ltd.;2015.
- [21] Prasad R. 5G: 2020 and beyond. Aalborg: River Publishers; 2015.
- [22] Vella H. 5G Vs 4G: What Is The Real Difference Between Them? Raconteur, 2019. Dostupno na: <https://www.raconteur.net/technology/4g-vs-5g-mobile-technology> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [23] Positioning and Location-Awareness in 5G. Tampere University of Technology, 2019. Preuzeto sa: <http://www.tut.fi/5G/positioning/> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [24] Nguyen P. Vehicle to everything (V2X) communication method and system. World Intellectual Property Organization, 2017. Preuzeto sa: <https://patentimages.storage.googleapis.com/16/52/92/b96834fc8d3886/WO2017033486A1.pdf> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [25] McLellan C. What is V2X communication? Creating connectivity for the autonomous car era. ZDNet,2019. Preuzeto sa: <https://www.zdnet.com/article/what-is-v2x-communication-creating-connectivity-for-the-autonomous-car-era/> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [26] Abou-zeid H, Pervez F, Adinoyi A, Aljlayl M, Yanikomeroğlu H. Cellular V2X Transmission for Connected and Autonomous Vehicles Standardization, Applications, and Enabling

- Technologies. IEEE Consumer Electronics Magazine. 2019;8(6):91-98.
- [27] 4meahc. Što je ad hoc bežična mreža? Dostupno na: <https://hrv.4meahc.com/what-is-an-ad-hoc-wireless-network-89029> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [28] 3GPP. Preuzeto sa: <https://www.3gpp.org/> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [29] Avot T. 5G On The Highway To V2X. Altran Engineering Solutions,2020. Preuzeto sa: [https://www.altranengineeringsolutions.com/wp-content/uploads/2019/05/Altran\\_V2X\\_5G\\_Whitepaper.pdf?584bd9&584bd9](https://www.altranengineeringsolutions.com/wp-content/uploads/2019/05/Altran_V2X_5G_Whitepaper.pdf?584bd9&584bd9) [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [30] Mallinson K. How C-V2X In 5G Will Transform Cars And Save Lives (Analyst Angle). RCR Wireless News, 2020. Preuzeto sa: <https://www.rcrwireless.com/20200206/analyst-angle/c-v2x-5g-transform-cars-analyst-angle> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [31] HAKOM Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti. Preuzeto sa: <https://www.hakom.hr/> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [32] Pravilnik O Zaštiti Od Elektromagnetskih Polja. Narodne Novine, 2014. Preuzeto sa: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_12\\_146\\_2740.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_12_146_2740.html) [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [33] Regulatorna u području zaštite od elektromagnetskih polja u Republici Hrvatskoj. Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske. Dostupno na: <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-zracenja/regulatorna-u-podrucju-zastite-od-elektromagnetskih-polja-u-republici-hrvatskoj/1779> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [34] RIVM National Institute For Public Health And The Environment. Preuzeto sa: <https://www.rivm.nl/en> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [35] HAKOM Hrvatska Regulatorna Agencija Za Mrežne Djelatnosti. Razvoj 5G mreže i zaštita javnog zdravlja, 2020. Preuzeto sa: <https://www.hakom.hr/UserDocImages/2020/radiokomunikacije/Razvoj%205G%20mre%C5%BEe%20za%C5%A1tita%20javnog%20zdravstva.pdf> [Pristupljeno: rujan 2020.]
- [36] Pasternack.com. Preuzeto sa: <https://www.pasternack.com/multi-antenna-698-mhz-5.9-ghz-6-dbi-gain-n-pe51168-p.aspx> [Pristupljeno: rujan 2020.]



## Popis ilustracija

<b>Slika 1</b> Grafički prikaz statističkih podataka o prometnim nesrećama prema podacima WHO-a.....	4
<b>Slika 2</b> Prikaz globalnih i regionalnih GNSS sustava, [6] .....	5
<b>Slika 3</b> Prikaz kontrolnog segmenta GPS-a, [8] .....	7
<b>Slika 4</b> Prikaz segmenta GPS-a, [9].....	8
<b>Slika 5</b> Prikaz rada GPS-a, [10].....	9
<b>Slika 6</b> Prikaz izračuna lokacije pomoću GPS-satelita, [10] .....	10
<b>Slika 7</b> Prikaz povoljnog i nepovoljno GDOP-a.....	12
<b>Slika 8</b> Prikaz razlika u signalima između GPS-a i GLONASS-a, [15] .....	14
<b>Slika 9</b> Ilustracija mogućih položaja satelita unutar Zemljinih orbita, [17].....	16
<b>Slika 10</b> Struktura 5G mreže, [20] .....	19
<b>Slika 11</b> Prikaz principa određivanja lokacije putem 5G mreže, [22] .....	22
<b>Slika 12</b> Prikaz V2X tehnologije .....	23
<b>Slika 13</b> Prikaz upozorenja koja vozilo prima pomoću V2X tehnologije, [25] .....	24
<b>Slika 14</b> Prikaz ograničenja graničnih vrijednosti po zemljama, [34] .....	34
<b>Slika 15</b> Prikaz korisničkog sučelja .....	39
<b>Slika 16</b> Kupolasta antena, [36].....	40
<b>Slika 17</b> Prikaz korisničkog sučelja s unesenim iznosima parametara .....	42
<b>Slika 18</b> Prikaz korisničkog sučelja s unesenim iznosima parametara (s dielektrikom).....	44

## Popis tablica

Tablica 1 Izvori pogreške prilikom lociranja pomoću GPS-a i njihov opseg, [7].....	13
Tablica 2 Tablična usporedba GNSS-a, [7].....	18
Tablica 3 Usporedba mreža, [22] .....	21
Tablica 4 Prikaz mjera graničnih razina propisanih Preporukom Vijeća EU implementiranih po državama, [31] .....	33
Tablica 5 Specifikacije antene, [36] .....	40
Tablica 6 Prikaz iznosa jakosti električnog polja za različita frekvencijska područja i udaljenosti.....	43
Tablica 7 Prikaz iznosa jakosti električnog polja s dielektrikom za različita frekvencijska područja i udaljenosti .....	45

## Popis kratica

3GPP (3rd Generation Partnership Project) Partnerski projekt treće generacije

EU (European Union) Europska Unija

ESA (European Space Agency) Europska Svemirska Agencija

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) Europski institut za telekomunikacijske norme

GCS (Ground Control Segment) Kontrolni segment na Zemlji

GDOP (Geometric Dilution of Precision) Geometrijska degradacija točnosti

GEO (Geosynchronous orbit) Geostacionarna orbita

GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) Ruski globalni navigacijski satelitski sustav

GMS (Ground Mission Segment) Segment misije na Zemlji

GNSS (Global Navigation Satellite System) Globalni navigacijski satelitski sustav

GPS (Global Positioning System) Globalni položajni sustav

GST (Galileo System Time) Vrijeme sustava Galileo

IGSO (Inclined Geosynchronous Orbit) Inklinirana geosinkronizirana orbita

IoT (Internet of Things) Internet stvari

IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) Indijski regionalni navigacijski satelitski sustav

PPS (Precise Positioning Service) Precizni pozicijski servis

QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) Quasi-Zenith satelitski sustav

SON (Self-Organising Network) Samoorganizirajuća mreža

SPS (Standard Positioning Service) Standardni pozicijski servis

TOW (Time Of the Week) Doba tjedna

UTC (Coordinated Universal Time) Koordinirano svjetsko vrijeme

V2H (Vehicle-to-Home) Komunikacija između vozila i pametnog doma

V2I(eng. Vehicle-to-Infrastructure) Komunikacija između vozila i infrastrukture

V2N (Vehicle-to-Network) Komunikacija između vozila i mreže

V2P(Vehicle-to-Pedestrian) Komunikacija između vozila i pješaka

V2V (Vehicle-to-Vehicle) Komunikacija između vozila

V2X (Vehicle-to-Everything) Komunikacija vozila i svega

WHO (World Health Organization) Svjetska Zdravstvena organizacija

WN (Week Number) Broj tjedana

## Prilog 1

Programski kod u Matlab-u

```
classdef markovic_app < Matlab.apps.AppBase

% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
UIFigure Matlab.ui.Figure
IZRAUNAJButton Matlab.ui.control.Button
JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel Matlab.ui.control.Label
JakostelektrinogpoljaVmEditField Matlab.ui.control.NumericEditField
SnagaantnewEditFieldLabel Matlab.ui.control.Label
SnagaantnewEditField Matlab.ui.control.NumericEditField
DobitakantenedBiEditFieldLabel Matlab.ui.control.Label
DobitakantenedBiEditField Matlab.ui.control.NumericEditField
FrekvencijaHzLabel Matlab.ui.control.Label
FrekvencijaHzEditField Matlab.ui.control.NumericEditField
UdaljenostmLabel Matlab.ui.control.Label
UdaljenostmEditField Matlab.ui.control.NumericEditField
PermitivnostpromatranogmaterijalaEditFieldLabel Matlab.ui.control.Label
PermitivnostpromatranogmaterijalaEditField Matlab.ui.control.NumericEditField
Image Matlab.ui.control.Image
ContextMenu Matlab.ui.container.ContextMenu
Menu Matlab.ui.container.Menu
Menu2 Matlab.ui.container.Menu
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Button pushed function: IZRAUNAJButton
function IZRAUNAJButtonPushed(app, event)
P = app.SnagaantnewEditField.Value;
G = app.DobitakantenedBiEditField.Value;
F = app.FrekvencijaHzEditField.Value;
r = app.UdaljenostmEditField.Value;
e = app.PermisivnostpromatranogmaterijalaEditField.Value;
e0 = 1;
C = 3 * 10^8;
L = C/F;
E1 = sqrt(30*P*G^2*(L/(4*3.14*r))^2)/r;
er = e/e0;
E2 = er*E1;
if e == 0
```

```

E1 = sqrt(30*P*G^2*(L/(4*3.14*r))^2)/r;
E1;
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.Value = E1;
else
er = e/e0;
E2 = er*E1;
E2;
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.Value = E2;
end
end

% Callback function
function DIPOLEButtonPushed(app, event)
end
end

% Component initialization
methods (Access = private)

% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 640 480];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';

% Create IZRAUNAJButton
app.IZRAUNAJButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.IZRAUNAJButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@IZRAUNAJButtonPushed, true);
app.IZRAUNAJButton.BackgroundColor = [1 1 1];
app.IZRAUNAJButton.FontName = 'Arial';
app.IZRAUNAJButton.FontSize = 14;
app.IZRAUNAJButton.FontWeight = 'bold';
app.IZRAUNAJButton.FontColor = [0 0 1];
app.IZRAUNAJButton.Position = [146 115 135 38];
app.IZRAUNAJButton.Text = 'IZRAČUNAJ';

% Create JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.FontName = 'Arial';
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.FontSize = 14;
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.FontColor = [0 0 1];
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.Position = [10 62 205 22];

```

```
app.JakostelektrinogpoljaVmEditFieldLabel.Text = 'Jakost električnog polja  
[V/m]';
```

```
% Create JakostelektrinogpoljaVmEditField
```

```
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');  
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.HorizontalAlignment = 'center';  
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.FontName = 'Arial Black';  
app.JakostelektrinogpoljaVmEditField.Position = [274 62 106 22];
```

```
% Create SnagaantenewEditFieldLabel
```

```
app.SnagaantenewEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.BackgroundColor = [1 1 1];  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.FontName = 'Arial';  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.FontSize = 14;  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.FontColor = [0 0 1];  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.Position = [10 404 121 22];  
app.SnagaantenewEditFieldLabel.Text = 'Snaga antene [w]';
```

```
% Create SnagaantenewEditField
```

```
app.SnagaantenewEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');  
app.SnagaantenewEditField.HorizontalAlignment = 'center';  
app.SnagaantenewEditField.FontName = 'Arial Black';  
app.SnagaantenewEditField.FontWeight = 'bold';  
app.SnagaantenewEditField.Position = [280 404 100 22];
```

```
% Create DobitakantenedBiEditFieldLabel
```

```
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.BackgroundColor = [1 1 1];  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.FontName = 'Arial';  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.FontSize = 14;  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.FontWeight = 'bold';  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.FontColor = [0 0 1];  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.Position = [10 350 141 22];  
app.DobitakantenedBiEditFieldLabel.Text = 'Dobitak antene [dBi]';
```

```
% Create DobitakantenedBiEditField
```

```
app.DobitakantenedBiEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');  
app.DobitakantenedBiEditField.HorizontalAlignment = 'center';  
app.DobitakantenedBiEditField.FontName = 'Arial Black';  
app.DobitakantenedBiEditField.Position = [280 351 100 22];
```

```
% Create FrekvencijaHzLabel
```

```
app.FrekvencijaHzLabel = uilabel(app.UIFigure);  
app.FrekvencijaHzLabel.BackgroundColor = [1 1 1];  
app.FrekvencijaHzLabel.HorizontalAlignment = 'right';
```

```

app.FrekvencijaHzLabel.FontName = 'Arial';
app.FrekvencijaHzLabel.FontSize = 14;
app.FrekvencijaHzLabel.FontWeight = 'bold';
app.FrekvencijaHzLabel.FontColor = [0 0 1];
    app.FrekvencijaHzLabel.Position = [10 304 113 22];
    app.FrekvencijaHzLabel.Text = 'Frekvencija [Hz]';

% Create FrekvencijaHzEditField
app.FrekvencijaHzEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.FrekvencijaHzEditField.HorizontalAlignment = 'center';
app.FrekvencijaHzEditField.FontName = 'Arial Black';
app.FrekvencijaHzEditField.Position = [280 304 100 22];

% Create UdaljenostmLabel
app.UdaljenostmLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.UdaljenostmLabel.BackgroundColor = [1 1 1];
app.UdaljenostmLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.UdaljenostmLabel.FontName = 'Arial';
app.UdaljenostmLabel.FontSize = 14;
app.UdaljenostmLabel.FontWeight = 'bold';
app.UdaljenostmLabel.FontColor = [0 0 1];
app.UdaljenostmLabel.Position = [10 244 103 22];
app.UdaljenostmLabel.Text = 'Udaljenost [m]';

% Create UdaljenostmEditField
app.UdaljenostmEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.UdaljenostmEditField.HorizontalAlignment = 'center';
app.UdaljenostmEditField.FontName = 'Arial Black';
app.UdaljenostmEditField.Position = [280 244 100 22];

% Create PermitivnostpromatranogmaterijalaEditFieldLabel
    app.PermittivnostpromatranogmaterijalaEditFieldLabel =
uilabel(app.UIFigure);

app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.BackgroundColor = [1 1 1];

app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
    app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.FontName =
'Arial';
    app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.FontSize = 14;
app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.FontWeight =
'bold';
    app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.FontColor = [0
0 1];
    app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.Position = [10
184 252 22];
    app.PermittivnetpromatranogmaterijalaEditFieldLabel.Text =
'Permittivnet promatranog materijala';

```

```

        % Create PermitivnostpromatranogmaterijalaEditField
        app.PermisivnostpromatranogmaterijalaEditField =
uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
        app.PermisivnostpromatranogmaterijalaEditField.HorizontalAlignment
= 'center';
        app.PermisivnostpromatranogmaterijalaEditField.FontName = 'Arial
Black';
        app.PermisivnostpromatranogmaterijalaEditField.Position = [280 184
100 22];

        % Create Image
        app.Image = uiimage(app.UIFigure);
        app.Image.Position = [391 -49 240 570];
        app.Image.ImageSource = 'aplikacija.jpg';

        % Create ContextMenu
        app.ContextMenu = uicontextmenu(app.UIFigure);

        % Create Menu
        app.Menu = uimenu(app.ContextMenu);
        app.Menu.Text = 'Menu';

        % Create Menu2
        app.Menu2 = uimenu(app.ContextMenu);
        app.Menu2.Text = 'Menu2';

        % Show the figure after all components are created
        app.UIFigure.Visible = 'on';
    end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

    % Construct app
    function app = markovic_app

        % Create UIFigure and components
        createComponents(app)

        % Register the app with App Designer
        registerApp(app, app.UIFigure)

    if nargin == 0

```

```
        clear app
    end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)
end
end
end
```





Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada

pod naslovom **PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA ZA RAZLIČITA**

**FREKVENCIJSKA PODRUČJA ZRAČENJA 5G MREŽE PRI UPOTREBI V2X TEHNOLOGIJE**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 17.09.2020

Student/ica:

*Mativo Marković*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)