

# Analiza razina zračenja baznih postaja i mobilnih uređaja

---

**Fabing, Megan - Maria**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:157581>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA RAZINA ZRAČENJA BAZNIH POSTAJA I  
MOBILNIH UREĐAJA**

**Završni rad**

**Megan-Maria Fabing**

**Osijek 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 07.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Megan - Maria Fabing
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4364, 24.09.2019.
OIB studenta:	67617340151
Mentor:	Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drnje
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Analiza razina zračenja baznih postaja i mobilnih uređaja
Znanstvena grana rada:	<b>Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)</b>
Predložena ocjena završnog rada:	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	07.09.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	14.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 02.10.2020.

Ime i prezime studenta:	Megan - Maria Fabing
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4364, 24.09.2019.
Turnitin podudaranje [%]:	23

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza razina zračenja baznih postaja i mobilnih uređaja**  
izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	2
<b>2. GLAVNE ZNAČAJKE MOBILNIH CELULARNIH SUSTAVA</b> .....	3
<b>2.1. Mobilni celularni sustavi</b> .....	3
<b>2.2. 2G mobilni sustav</b> .....	6
<b>2.3. 3G mobilni sustav</b> .....	7
<b>2.4. 4G mobilni sustav</b> .....	8
<b>2.5. 5G mobilni sustav</b> .....	9
<b>2.6. Usporedba 2G, 3G, 4G i 5G radijskih tehnologija</b> .....	10
<b>3. ZAŠTITA LJUDI OD ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA</b> .....	12
<b>3.1. Mjerenje elektromagnetskog zračenja</b> .....	12
<b>3.1.1. Specifična brzina apsorpcije (SAR) i blisko polje antena</b> .....	13
<b>3.1.2. Gustoća snage i daleko polje antena</b> .....	15
<b>3.2. Hrvatska načela za zaštitu od elektromagnetskog zračenja</b> .....	16
<b>4. MJERENJE JAKOSTI POLJA BAZNIH POSTAJA I MOBILNOG UREĐAJA</b> .....	23
<b>4.1. Opis mjernih mjesta</b> .....	23
<b>4.2. Postupak mjerenja</b> .....	29
<b>4.3. Rezultati mjerenja</b> .....	31
<b>4.3.1. Usporedba jakosti električnog polja kod različitih uvjeta propagacije</b> .....	31
<b>4.3.2. Provjera uvjeta za elektromagnetska polja više frekvencija</b> .....	35
<b>ZAKLJUČAK</b> .....	37
<b>LITERATURA</b> .....	38
<b>SAŽETAK</b> .....	41

## 1. UVOD

Tijekom godina mobilni uređaji su postali svakodnevnica gotovo svakog pojedinca te je život bez njih gotovo nezamisliv. Kako bi se zadovoljili zahtjevi za povećanjem količine telefonskog, a posebno podatkovnog prometa, digitalna mobilna telefonija se razvija vrlo velikom brzinom počevši od GSM – 2G mrežom pa sve do najnovije 5G mreže koja s implementacijom započela 2019. godine. Kako bi se povećala, odnosno osigurala pokrivenost signala mobilnom mrežom, potrebno je postaviti dovoljan broj baznih postaja. S povećanjem prometa i uvođenjem novih generacija mobilnih mreža, broj baznih stanica i antenskih sustava se povećava. Kako bi razine zračenja ovih sustava bile u dozvoljenim granicama na mjestima na kojima borave ljudi, prilikom njihovog postavljanja bitno je voditi računa o mjestu postavljanja (lokaciji) te o tipu antena i smjeru maksimalnog zračenja tih antena. Osim toga bitno je da se poštuju smjernice o zaštiti od elektromagnetskih polja kao i smjernice o zaštiti od neionizirajućeg zračenja, kako s ene bi . te da ugrozilo zdravlje ljudi. Stoga je bitno provoditi mjerenja jakosti elektromagnetskog polja na mjestima gdje ljudi borave, a naročito onima na kojima je zbog blizine bazne postaje i položaja u odnosu na antene polje najjače.

U drugom poglavlju opisane su glavne značajke mobilnih celularnih sustava te pojedine generacije mobilnih mreža (2G – 5G) s naglaskom na pristupne radijske tehnologije. U trećem poglavlju navedeni su načela zaštite ljudi od elektromagnetskog zračenja, postupci mjerenja jakosti polja te hrvatske smjernice i propisi vezani za zaštitu od elektromagnetskog zračenja. U četvrtom poglavlju rada opisano je mjerenje jakosti polja baznih postaja i mobilnih uređaja u nekoliko različitih scenarija te je analizirano koliko ono doprinosi ljudskoj izloženosti elektromagnetskom zračenju. U petom poglavlju dani su glavni zaključci vezani uz mobilne celularne sustave te provedeno mjerenje.

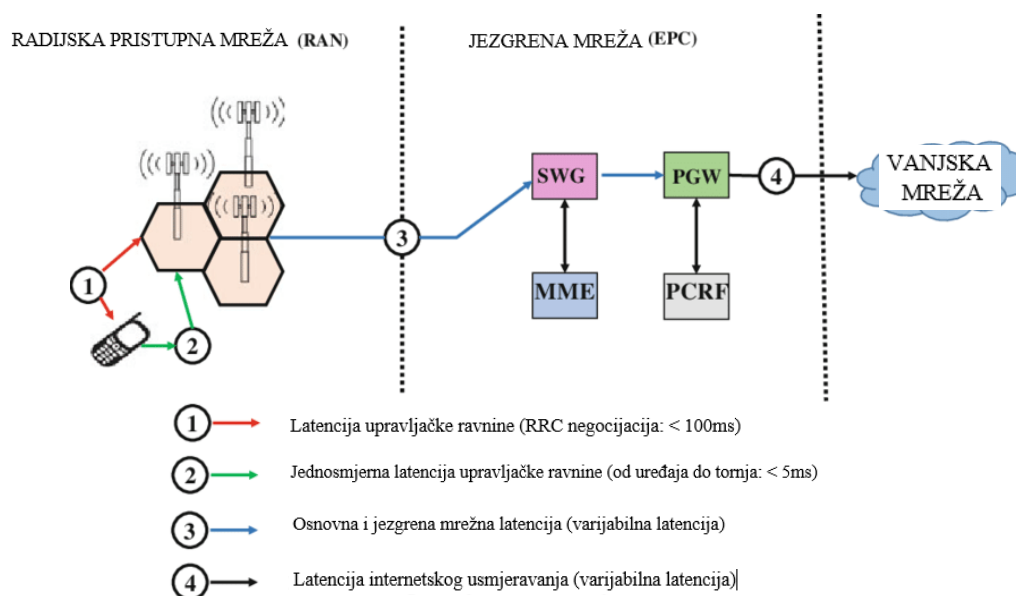
## **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak završnog rada je obraditi zakonsku regulativu vezanu za ograničenja razina elektromagnetskog zračenja te opisati glavne značajke mobilnih celularnih sustava. U praktičnom dijelu rada potrebno je provesti mjerenja jakosti polja baznih postaja i mobilnih uređaja u nekoliko definiranih scenarija te analizirati njihov doprinos izloženosti ljudi elektromagnetskom zračenju.

## 2. GLAVNE ZNAČAJKE MOBILNIH CELULARNIH SUSTAVA

Mobilni celularni sustavi počinju se razvijati krajem 20. stoljeća sa ciljem olakšanja komunikacije u svakodnevnom životu. Kako se počinju razvijati tako stječu sve veću popularnost te se šire po cijelome svijetu. Napretkom tehnologije, osim što dolazi do novih otkrića te poboljšanja mobilnih celularnih sustava, povećava se i broj baznih postaja koje su potrebne kako bi mobilni sustavi uopće mogli funkcionirati.

Mobilni celularni sustavi sastoje se od tri dijela: radijske pristupne mreže (RAN, eng. *Radio Access Network*), jezgrene mreže (eng. *Core Network*) i vanjske mreže (eng. *External Network*). Radijska pristupna mreža omogućuje pristup i kretanje podataka/glasa od i do korisničke opreme. Jezgrena mreža zatim spaja radijsku pristupnu mrežu i vanjsku mrežu, nadalje zadaća jezgrene mreže je usmjeravanje podataka, rješavanje usluga te politika upravljanja. Radijska pristupna mreža sastoji se od baznih postaja (eng. *Base Stations*), kontrolera baznih postaja (eng. *Base Station Controllers*) i pomoćne mreže (eng. *Backhaul network*). (Slika 2.1.) prikazuje arhitekturu mobilne mreže te povezivanje od radijske pristupne mreže do vanjske mreže, [1].



Slika 2.1. Arhitektura mobilne mreže [1, str.67]

### 2.1. Mobilni celularni sustavi

Mobilni celularni sustavi su radijski (bežični) komunikacijski sustavi koji omogućavaju komunikaciju mobilnih korisnika međusobno te s korisnicima u drugim mrežama. Kako bi ta komunikacija mogla funkcionirati potrebna je mreža baznih postaja, pri čemu se prostor dijeli na više ćelija koje svojim signalom pokriva pojedina bazna postaja te se komunikacija mobilnog



(pokretnog) korisnika odvija tako da se poziv prebacuje iz jedne bazne postaje u drugu. [2] Prostor koji sa signalom pokriva više odnosno skupina baznih postaja naziva se područjem lokacije odnosno područje usmjerenja. Osnovna funkcija mobilnog celularnog radio sustava je lociranje i praćenje aktivnih i neaktivnih pretplatnika ili mobilnih postaja te je cilj spojiti mobilni uređaj s najboljom dostupnom baznom postajom, [3].

Celularni sustavi koriste nisku razinu snage za radio komunikaciju između mobilne postaje i mreže baznih postaja. Kako ne bi došlo do loše radio veze, važno je nadgledati i kontrolirati radio vezu kako bi ona bila što bolja i kvalitetnija. Kvaliteta radio veze se vrednuje pomoću velikog broja kriterija, ali u osnovi statističko mjerenje se temelji na stječenom znanju o očekivanim karakteristikama radio kanala. Dugotrajna mjerenja kvalitete veze ograničit će sposobnost celularnog sustava da reagira na promjene u kvaliteti veze, što će kompenzirati promjenom baznih postaja i dodjelom resursa snage i širine pojasa za određenu vezu. S druge strane, ako je mjerenje kvalitete veze moguće brzo izvršiti, tada vrijeme koje je potrebno da celularni sustav obradi mjerenja kvalitete veze, donosi odluke te prenosi željene promjene za mrežne subjekte, ograničit će prilagodljivost mreže celularnog sustava. Dakle glavni faktori koji određuju spektralnu učinkovitost celularnog sustava su veličina ćelije, sposobnost radio veze da izdrži smetnje i sposobnost celularnog sustava da reagira na promjene u komunikacijskom prometu, [3].

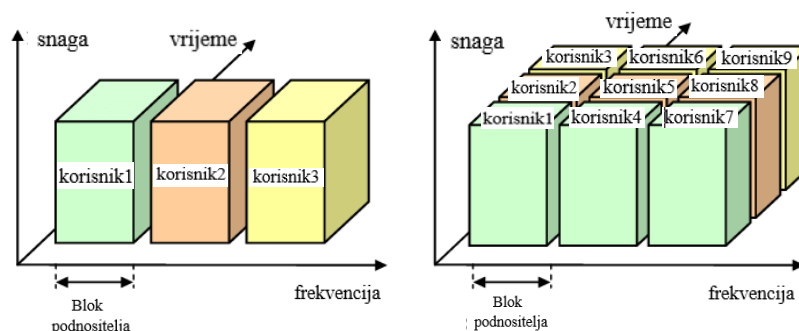
Cilj bežičnih komunikacijskih sustava je omogućiti pristup što većem broju korisnika na malom frekvencijskom pojasu te se stoga koriste tehnike višestrukog prijenosa signala: višestruki pristup s frekvencijskom raspodjelom (FDMA), višestruki pristup s vremenskom raspodjelom (TDMA) i višestruki pristup tehnologijom proširenog spektra (CDMA).

FDMA tehnika koristi se u analognim sustavima te se temelji na podjeli frekvencije da bi se omogućio višestruki pristup. U nekom vremenskom periodu kanal je dodijeljen samo jednom korisniku, a drugom korisniku je pristup dozvoljen samo ako je već obavio prethodni razgovor ili otišao u područje pokrivanja druge ćelije, [4]. Standardi korišteni u FDMA tehnici su: AMPS (*eng. Advanced Mobile Phone System*) čija je frekvencija mobilnog prijenosa od 824 MHz do 849 MHz (Tx - predajnik) i od 869 do 894 MHz (Rx – prijemnik), NMT (*eng. Nordic Mobile Telephony*) čija je frekvencija mobilnog prijenosa od 463 do 468 MHz (Rx – prijemnik) i od 453 MHz do 458 MHz (Tx – predajnik) za NMT – 450 standard te od 935 MHz do 960 MHz (Rx - prijemnik) i od 890 MHz do 915 MHz (Tx - predajnik) za NMT-900 standard te TACS (*eng. Total Access Communication System*) čija je frekvencija mobilnog prijenosa od 916 MHz do 949 MHz (Rx – prijemnik) i od 871 MHz do 904 MHz (Tx – predajnik) za ETACS te od 860 MHz do 870 MHz

(Rx – prijemnik) i od 915 MHz do 925 MHz (Tx – predajnik) za NTACS, [5]. Nedostaci ove tehnike su ograničenja prilikom upotrebe iste frekvenije u susjednim ćelijama kao i slab kapacitet, [4].

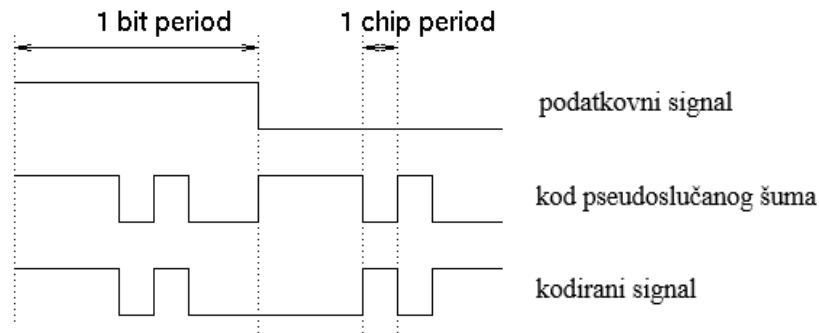
TDMA tehnika omogućuje vrlo dobru kvalitetu usluga velikom broju korisnika. Frekvencijsko područje se dijeli na kanale. Kanali se nadalje dijele na velik broj intervala te se svakom korisniku dodjeljuje jedan vremenski interval. Na taj se način istovremeno, odnosno, putem istog (jednog) kanala opslužuje više korisnika (npr. 8 u GSM sustavu, eng. *Global System for Mobile Communications*). Standardi koji se koriste u TDMA tehnici su: USDC (eng. *United States Digital Cellular*) čija je širina kanala 30 kHz, a broj vremenskih intervala je 3 te GSM čija je širina kanala 200 kHz, a broj vremenskih intervala 8, [4].

Prema slici 2.2., koja pokazuje razliku u rasporedu između a) FDMA u odnosu na b) TDMA, vidi se da je kod TDMA tehnike frekvencijski kanal podijeljen između više korisnika koji šalju signal u kratkim snopovima na istoj frekvenciji, dok kod FDMA tehnike svaki korisnik ima svoju vlastitu frekvenciju.



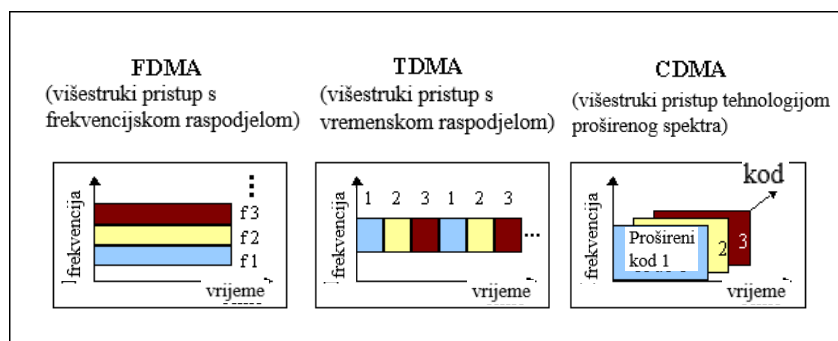
**Slika 2.2.** Razlika između a) FDMA i b) TDMA [6]

CDMA tehnika je tehnika višestrukog prijenosa signala u kojem svi korisnici dijele isti frekvencijski kanal, ali pri tome koriste različite ortogonalne kodove. Tehnologijom proširenog spektra (eng. *Spread spectrum*), signalu informacije se proširi spektar posebnom metodom te se zatim kodira jedinstvenim ortogonalnim kodom koji je poznat samo prijemniku i predajniku. Ortogonalni kodovi osiguravaju razlikovanje signala na prijemnoj strani. Prošireni kodovi koji se koriste u UMTS-u baziraju na Walsh matrici dimenzije  $64 * 64$  u kojoj su redovi međusobno ortogonalni, što kazuje i da je svaki kod jedinstven odnosno da nema dva ista koda. CDMA, teoretski, ima neograničen kapacitet, ali zbog zahtjeva za ortogonalnosti redova on je u praksi ograničen. Slika 2.3. pokazuje primjer generiranja jednog CDMA signala od ulaznih podataka, uz prikaz proširenog koda te na kraju izlaznog odnosno kodiranog signala.



**Slika 2.3.** Primjer CDMA tehnike prijenosa signala [7]

Kod mobilnih sustava, CDMA tehnikom, ljudski glas (300 – 3400 kHz) kodira se QPSK modulacijom u digitalni signal brzine 9600 bita po sekundi (bps) te se signal proširi na približno 1.23 Mbps pritom koristeći poseban kod koji sadrži informaciju o mobilnoj jedinici. Nakon što se signal proširi, emitira se preko dozvoljenog kanala te se zbraja s ostalim signalima, a prijemnik razdvaja signal koji ima određeni kod [4]. Zaključak je da je CDMA tehnika naprednija i pouzdanija od TDMA tehnike. TDMA se koristi kod GSM i USDC sustava, dok je CDMA prisutna u IS-95 i UMTS sustavima. CDMA u usporedbi s FDMA sustavom omogućuje 10 – 20 puta veći kapacitet, dok u usporedbi s TDMA sustavom ima 4 – 7 puta veći kapacitet, [4]. (Slika 2.4.) prikazuje razliku između FDMA, TDMA i CDMA tehnika višestrukog prijenosa signala, gdje su kod TDMA tehnike svi korisnici na istoj frekvenciji, ali samo kratki period vremena, FDMA tehnika kod koje svaki korisnik ima svoju vlastitu frekvenciju te CDMA tehnika kod koje su svi korisnici na istoj frekvenciji, ali s različitim kodovima.



**Slika 2.4.** Razlika između FDMA, TDMA i CDMA [8]

## 2.2. 2G mobilni sustav

2G mobilni sustavi počeli su se razvijati 1980. godine, a implementirani su početkom 90-tih godina 20-tog stoljeća. Standardi koje obuhvaća su: GSM/DCS1800/PCS1900 u Europi, PDC (eng. *Personal Digital Cellular*) u Japanu te IS-54/136 i IS-95 u Sjedinjenim Američkim

Državama, [3]. U 2G mobilnim sustavima, RAN (*eng. Radio Access Network*) je dizajniran na način da se sav promet poslan od bazne postaje šalje na kontroler (kontroler bazne postaje (BSC) u GSM-u) u kojem se vrše funkcije upravljanja mobilnošću, šifriranje podataka te upravljanje radioresursima, [1].

GSM mreža (*eng. Global System for Mobile Communications*) razvijena je od strane CEPT -a (*eng. Conference of European Posts and Telegraphs*) s ciljem da se razvije sustav mobilne celularne telefonije u Europi. GSM podržava glasovne operacije punom brzinom (8 intervala po nosiocu) te polovičnom brzinom (16 intervala po nosiocu). Nadalje, podržava različite sinkrone i asinkrone podatkovne servise na 2.4, 4.8 i 9.6 kilobajta po sekundi (kb/s). Tehnika višestrukog prijenosa koju koristi GSM je TDMA, širina frekvencijskog kanala je 200 kHz, a na svakom nosiocu je 8 vremenskih intervala u trajanju od 0.577 ms. GSM koristi GMSK (*eng. Gaussian Minimum Shift Keying*) modulaciju, a ukupna (podaci s zaštitnim kodiranjem) brzina prijenosa je 270.8 kb/s. Nove varijante GSM su proizvedene kako bi mogle raditi u pojasu od 900 i 1800 MHz u Europi te u pojasu od 850 i 1900 MHz u Sjevernoj Americi. Varijanta predstavljena u GSM Release '97 omogućila je brzinu prijenosa podataka do 140 kb/s koja se naziva GPRS (*eng. General Packet Radio Service*). Novija varijanta, predstavljena kao GSM Release '99, koja koristi najnapredniju tehnologiju tog vremena, omogućuje brzinu prijenosa do 473.6 kb/s sa nekodiranom 8-PSK modulacijom i komercijalno se naziva EDGE (*eng. Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Krajem 1993. godine, GSM mrežu koristilo je preko milijun pretplatnika, dok je do 2013. godine ta brojka porasla na 6.5 milijardi pretplatnika, [3].

### **2.3. 3G mobilni sustav**

Svjetska administrativna radijska konferencija (WARC, *eng. World Administration Radio Conference*) je 1992. godine odobrila podjelu spektra na svjetskoj razini za podršku IMT-2000 (*eng. International Mobile Telephone by the Year 2000*) u pojasu 1885 – 2200 MHz. IMT-2000 razvijen je od strane Međunarodne telekomunikacijske unije, sektor radiokomunikacije (ITU-R) i sektor telekomunikacije (ITU-T). Zamisao IMT-2000 bila je da to bude sveprisutan bežični sustav koji podržava glasovnu, multimedijску i brzu komunikaciju podataka. S obzirom da ITU nije jasno odredio minimalnu prosječnu brzinu koju korisnici mogu očekivati od 3G mreže, smatralo se da će maksimalna brzina podataka silazne veze biti od 2 Mbit/s za stacionarne korisnike, odnosno 384 kbit/s za vozilo u pokretu. IMT-2000 je zapravo grupa standarda u kojem su dva od standarda bazirani na TDMA tehnici te se nazivaju EDGE i DECT (*eng. Digital Enhanced Cordless Telephone*). EDGE standard zadovoljava kriterije IMT-2000 mreže, ali se EDGE mreže češće

nazivaju 2.5G mreže nego 3G mreže. Najpoznatiji oblici IMT-2000 su cdma2000, razvijen od strane 3GPP2 te UMTS (*eng. Universal Mobile Telecommunication System*) koji je razvijen od strane 3GPP.

UMTS uključuje višestruki pristup širokopojasnom tehnikom WCDMA (*eng. Wideband Code Division Multiple Access*) te se ponekad ta dva pojma koriste u istom kontekstu. UMTS uključuje i dva zračna sučelja: TD-CDMA i TD-SCDMA. U odnosu na 2G mobilne sustave, UMTS sustavi, iako zahtijevaju korištenje nove frekvencije kao i nove bazne postaje, svejedno su povezani s GSM/EDGE jer posuđuju i grade koncepte od GSM -a te upravo iz tog razloga većina UMTS koncepata podržava GSM mobilnu mrežu. WCDMA kanali su upareni i imaju frekvencijsku širinu od 5MHz. Podržavaju vršnu brzinu podataka do 384 kbit/s i za uzlaznu i silaznu vezu u svim uvjetima. Modulacije koje se koriste kod WCDMA su QPSK i BPSK. Veliki nedostatak sustava je to što imaju veliku širinu kanala (5 MHz) te je oprema mnogo skuplja i naprednija zbog čega se u većini zemalja dugo odgađala njihova primjena, ali s vremenom je ipak prihvaćena. Najveće razlike između cdma2000 i WCDMA su u razini proširenja signala, te u sinkronom (cdma2000) mrežnom radu koji se postiže prilikom korištenja globalnog položaja pozicioniranja (GPS) i asinkronom (WCDMA) mrežnom radu, [3]

## **2.4. 4G mobilni sustav**

Mogućnosti mobilnih sustava četvrte generacije su definirane u ITU-u i IMT–Advanced-u. IMT– Advanced omogućava brzinu podataka do 100 Mbps u aplikacijama visoke mobilnosti, a u stacionarnim ili aplikacijama niske mobilnosti omogućava brzinu podataka do 1 Gbps. 4G mobilni sustavi koriste OFDMA i SCFDMA tehniku višestrukog prijenosa signala. Prvi standardi korišteni u 4G mobilnim sustavima su LTE (*eng. Long Term Evolution*) i IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) koji zapravo nisu zadovoljavali sve uvjete 4G mreže (nisu zadovoljavali IMT–Advanced) pa se zapravo ne mogu smatrati pravim standardima 4G mobilnih sustava. Kasnije, naprednije verzije su LTE-A i Mobile WiMAX Release 2.

LTE standard koristi OFDMA tehniku za silaznu vezu te SCFDMA tehniku za uzlaznu vezu. Kako bi se povećala brzina podataka, kombinira do pet kanala frekvencije 20 MHz. Veličina propusnog pojasa je 100 MHz, a modulacije koje koristi su QPSK, 16QAM i 64QAM. Standardi LTE-A i LTE-A Pro se zapravo smatraju jedinim pravim tehnologijama. LTE-A koristi OFDMA tehniku za silaznu vezu te SCFDMA tehniku za uzlaznu vezu. Podržava širinu kanala do 100 MHz silazno i 40 MHz uzlazno. Korištene modulacije su QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM, dok mu je latentnost manja od 5 ms, a najveća brzina podataka koje može prenijeti je 1 Gbit/s. LTE-A Pro

ima brzinu prijenosa podataka od 3 Gbit/s, širinu propusnog pojasa od 640 MHz te latentnost od 2 ms, [3].

## 2.5. 5G mobilni sustav

Mobilni sustavi pete generacije su najnoviji mobilni sustavi čija je implementacija počela tijekom 2019. Velika prednost 5G sustava je što imaju vrlo velik kapacitet, kašnjenje manje od 1 ms te brzinu prijenosa podataka do 10 Gbit/s. Cilj je da se omogući ogromna pokrivenost te maksimalno poveća broj korisnika te mreže, [3].

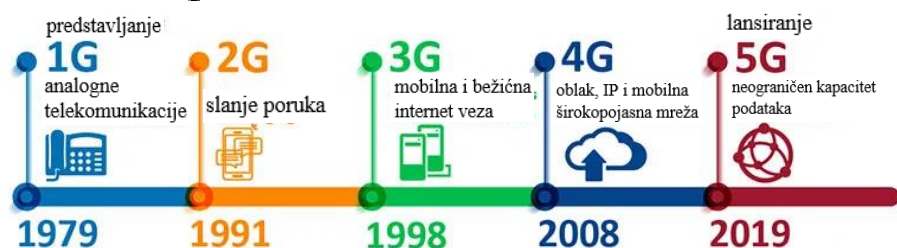
5G NR (*eng. New Radio*) ključan je kako bi 5G mobilni sustav uopće funkcionirao. 5G NR koristi frekvencijski spektar između 2,5 i 40 GHz te imaju veliku prednost u odnosu na prethodne generacije mobilnih sustava, a to su velika propusnost i velika brzina prijenosa podataka. Modulacija višestrukog prijenosa signala koja se koristi u 5G sustavima su CP-OFDM (*eng. Cyclic Prefix – OFDM*). Počinje se koristiti nova radio oprema koji sadržava velik broj antena. Koriste se MIMO (*eng. Multiple Input Multiple Output*) antenski sustavi s 32 ili 64 pojedinačne antene tako da se zračenje usmjerava prema mobilnom uređaju, [9].

U sustavima pete generacije pojavljuje se virtualizacija mrežnih funkcija (NFV, *eng. Network Functions Virtualisation*) pomoću kojeg se normiraju izvedbe raznih mrežnih elemenata. Ovaj koncept omogućava da se mrežne funkcije kreiraju programski aktivirajući se iz bilo kojeg dijela mreže. NFV koncept otvara puteve prema sustavu otvorenog koda (*eng. Open Source*). Prednosti koje ima NFV su prema [10] :

- Smanjeni i operativni troškovi zbog manjeg troška za opremu, a time i smanjenje potrošnje energije;
- Kraće vrijeme i smanjenje rizika prilikom uvođenja novih servisa u sustav;
- Brži povrat sredstava uložениh u kreiranje novih servisa;
- Veća fleksibilnost pri uvođenju ili gašenju pojedinih servisa u sustavu;
- Otvaranje tržišta isporučitelja virtualnih servisa;
- Razdvajanje hardverskog od softverskog poslovnog modela.

Slika 2.5. prikazuje razvitak od prve generacije mobilnih mreža do pete generacije te koliko se promijenio kapacitet, brzina, ali i dizajn mobilnih sustava

## Evolicija 5G mreže



Slika 2.5. Razvitak mreža od 1G do 5G [11]

### 2.6. Usporedba 2G, 3G, 4G i 5G radijskih tehnologija

Radijske tehnologije razlikuju se po godini primjene, modulaciji, frekvencijskom području za uzlaznu i silaznu vezu, širini kanala, vrsti multipleksiranja, načinu komutacije, tipu usluge, vrsti glavne (jezgrene) mreže. Tablica 2.1. u nastavku prikazuje razliku između 2G, 3G, 4G i 5G radijskih tehnologija, [12].

Tablica 2.1. Usporedba radijskih tehnologija 2G, 3G, 4G i 5G [12]

	2G	3G	4G	5G
Godina primjene	1990	2001	2010	2020
Modulacija	GMSK	QPSK/BPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Frekvencijsko područje <sup>1</sup>	890 – 960 MHz	1.6 – 2.5GHz	2 – 8 GHz	>6 GHz
Širina kanala	200 kHz	5 MHz	5 - 20 MHz	>100 MHz
Vrsta multipleksiranja	TDMA, CDMA	CDMA	MC-CDMA, OFDMA	CDMA, CP - OFDM
Način komutacije	kanalna i paketna	kanalna i paketna	paketna	paketna
Tip usluga	glasovne usluge	velike brzine glasovnih usluga/podataka/videoa	velika brzina pristupa, HD kapacitet, roaming usluge, nosivi uređaji	dinamički pristup informacijama, nosivi uređaji s AI kapacitetom

<sup>1</sup> U tablici su dana osnovna područja, a zbog povećanja prometa frekvencijska područja koja koriste pojedini sustavi se mijenjaju, a neka područja koristi više sustava

Vrsta glavne (jezgrene) mreže	PSTN, paketna mreža	paketna mreža	IP mreža	IP mreža
-------------------------------	---------------------	---------------	----------	----------



### 3. ZAŠTITA LJUDI OD ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

Elektromagnetsko neionizirajuće zračenje ima utjecaj na ljudsko tijelo te se zato smatra biološkim učinkom. Ukoliko je ljudsko tijelo dugo izloženo tom zračenju te ukoliko su prekoračene propisane granice, tada to može dovesti do štetnih posljedica na zdravlje. Kako bi se smanjio štetan učinak na zdravlje, odnosno količina zračenja, propisana su određena ograničenja te su definirane granične vrijednosti elektromagnetskog zračenja koje ne šteti ljudskom zdravlju. Biološkim učincima neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja bave se međunarodna standardizacijka tijela International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP); i Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Zemlje zapadne Europe prihvatile su norme propisane od strane ICNIRP-a, dok su SAD prihvatili IEEE norme. Prema normama i preporukama ICNIRP-a propisane su granične vrijednosti karakterističnih parametara elektromagnetskog polja u dvije kategorije prema [13]:

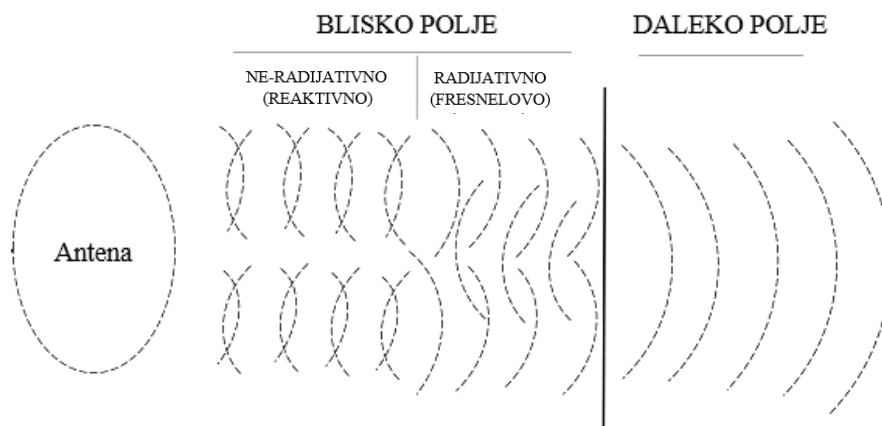
- Temeljna ograničenja – veličine međudjelovanja elektromagnetske energije s biološkim tkivom, izražene kao gustoća apsorbirane snage SAR [ $W/kg$ ], gustoća inducirane struje  $J$  [ $A/m^2$ ] i gustoća inducirane snage  $S$  [ $W/m^2$ ]
- Referentne razine – veličine koje opisuju upadno (incidentno) elektromagnetsko polje – jakost električnog polja  $E$  [ $V/m$ ], jakost magnetskog polja  $H$  [ $A/m$ ] i gustoća snage elektromagnetskog vala  $S$  [ $W/m^2$ ].

Teorijski, kako bi se ljudi zaštitili od elektromagnetskog zračenja, bitno je zadovoljavanje temeljnih ograničenja (postupak dozimetrije unutarnjeg polja) dok se u praksi to svodi na proračune te mjerenja parametara polja kojim se definiraju referentne razine (postupci dozimetrije upadnog polja). Radi lakšeg izvođenja, procjena štetnosti se gotovo uvijek svodi na zadovoljavanje referentnih razina, [13].

#### 3.1. Mjerenje elektromagnetskog zračenja

Glavni čimbenici koji utječu na elektromagnetsko zračenje antene u nekom određenom smjeru su snaga odašiljanja te dijagram zračenja antene. Usmjerene antene pojačavaju signal u smjeru maksimalnog zračenja ovisno o dobitku antene, dok svesmjerne (omnidirekzione) antene zrače jednako u svim smjerovima (točnije u svim smjerovima horizontalno, dok vertikalni dijagram zračenja ima određenu usmjerenost). Na temelju udaljenosti od antene, sve odašiljačke antene imaju dvije regije definirane na temelju električnog i magnetskog polja: područje bliskog polja i

područje dalekog polja (prikazano slikom 3.1). Elektromagnetsko zračenje u području bliskog polja antena je drukčije od područja dalekog polja antena pa se koriste dvije različite mjere za proračun. Za blisko polje antena koristi se specifična brzina apsorpcije (SAR) te se ono uglavnom odnosi na zračenje mobilnih uređaja, dok se za daleko polje antena koristi gustoća snage, [14]. Prema [15], Hrvatska norma HRN EN 50383:2012 je norma pomoću koje se računa i mjeri jakost elektromagnetskog polja te gustoće apsorbirane snage koja se odnosi na izloženost ljudi radijskim baznim postajama i nepokretnim krajnjim postajama u bežičnim telekomunikacijskim sustavima (110MHz – 40GHz), što pokriva frekvencijski opseg u kojem rade mobilne komunikacijske mreže. Detaljnije o bliskom i dalekom polju antena kao i matematički izrazi pomoću kojih se računaju spomenuti parametri bit će opisano u slijedećim odlomcima.



Slika 3.1. Zračenje bliskog i dalekog polja antene [16]

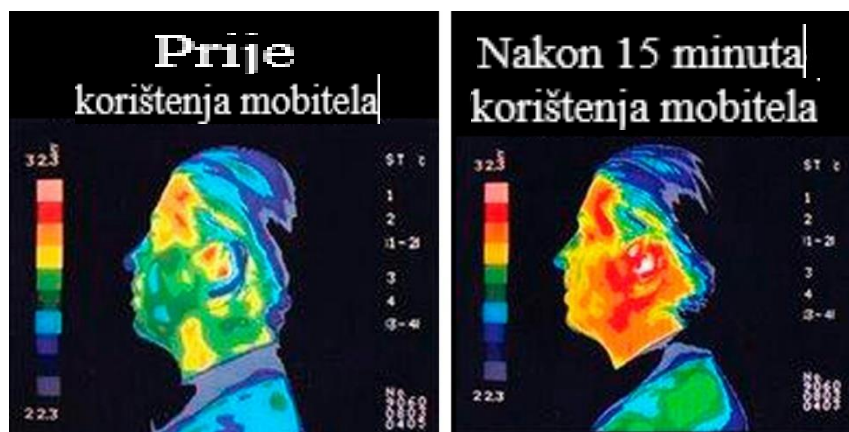
### 3.1.1. Specifična brzina apsorpcije (SAR) i blisko polje antena

Blisko polje antene je područje koje se nalazi u blizini antene te se dijeli u dva područja: reaktivno (indukcijsko) i radijacijsko (Fresnelovo). Reaktivno područje se nalazi u području od antene do udaljenosti  $0 \dots \max\left(\frac{\lambda}{D^2/4\lambda}\right)$ , gdje lambda ( $\lambda$ ) predstavlja valnu duljinu, a D je najveća dimenzija antene, [15]. U ovom području provodi se neovisno vrednovanje električnog i magnetskog polja se s obzirom da ih je tamo teško karakterizirati te su mjerenja izrazito složena. Nadalje, energija koja je disipirana unutar reaktivnog područja se lako apsorpira u ljudskom tijelu pa služi kao glavni faktor prilikom izlaganja bliskom polju antena. Slijedeće je područje radijacijskog bliskog polja, čija je donja granica  $\max\left(\frac{\lambda}{D^2/4\lambda}\right)$ , a gornja granica  $\max\left(\frac{5\lambda}{0.6D^2/\lambda}\right)$ , [15]. Iznad gornje granice radijacijskog bliskog polja nalazi se područje dalekog radijacijskog polja.

Definicija specifične brzine apsorpcije (SAR) kaže da je to mjera brzine ljudskog tijela da apsorbira energiju nakon izloženosti elektromagnetskom zračenju, odnosno to je apsorbirana snaga po jedinici mase te joj je mjerna jedinica vat po kilogramu (W/kg), [17]. Elektromagnetsko zračenje mobilnih uređaja je najčešće u bliskom polju s obzirom da su mobiteli najčešće u blizini tijela te ga je potrebno izračunati u zadanom vremenu t (SAR × t), mjerna jedinica je J/kg (džul po kilogramu). Stoga matematički izraz je dan prema [14]:

$$SAR = \frac{\delta}{\delta t} \left( \frac{\delta W}{\delta m} \right) = \frac{\delta}{\delta t} \left( \frac{\delta W}{\rho \delta V} \right) \quad (3 - 1)$$

gdje W, m, V i ρ predstavljaju redom energiju koja je apsorbirana od strane tijela, masu, volumen i gustoću tijela. Da bi se SAR izmjerio pravilno i točno, potrebno je imati odgovarajuću laboratorijsku opremu i uređaje te nakon što se obave sva mjere uspoređuje se dobiveni rezultat sa propisanim ograničenjima. [14]. Prilikom razgovora na mobitel, uslijed bliskog induktivnog polja mobitela zagrijava se glava, odnosno oni dijelovi tijela koji su u neposrednoj blizini mobitela. Slika 3.2. prikazuje utjecaj zračenja mobitela na temperaturu tkiva glave.



**Slika 3.2.** Zagrijavanje glave uslijed korištenja mobitela [18]

Antene baznih postaja se opisuju antenskim nizom dipol antena te se tada ukupna snaga po jedinici površine cilindra izražava prema [14] kao:

$$P = NP_{rad} = \oint \vec{S} d\vec{A} = \int_0^{2\pi} \int_{-L}^{+L} S \vec{e} * \rho d\phi dz \cdot \vec{e}_p = S \cdot 2\pi\rho \cdot 2L \quad (3 - 2)$$

gdje  $P_{rad}$  predstavlja zračenu snagu jedne dipol antene, N je broj kanala, ρ je radijalna udaljenost od antene, a 2L ukupna duljina antene prema [14]

Prosječna gustoća snage po jedinici površine cilindra je prema [14]:

$$S = \frac{NP_{rad}}{2\pi\rho 2L} \quad (3 - 3)$$

Ako se u obzir uzme sektorsko pokrivanje signala u prvoj aproksimaciji tada je prosječna gustoća snage jednaka prema [14]:

$$S = \frac{NP_{rad}}{2\pi\rho 2L} \frac{180}{\bar{\phi}} \quad (3 - 4)$$

gdje  $2\bar{\phi}$  predstavlja širinu glavnog snopa prema [14].

### 3.1.2. Gustoća snage i daleko polje antena

Daleko polje antena se nalazi u području koje dolazi nakon područja bliskog radijaciskog polja antena. Granica dalekog polja antena je  $\max\left(\frac{5\lambda}{0.6D^2/\lambda}\right) \dots \infty$  od antene gdje D predstavlja najveću linearnu dimenziju antene, a lambda ( $\lambda$ ) je valna duljina. To područje se još i naziva Fraunhoferovo područje, [15].

Gustoća snage u smjeru maksimalnog zračenja jednaka je umnošku jakosti električnog polja (E) i magnetskog polja (H) odnosno količniku kvadrata električnog polja i pripadne impedancije prema [14]:

$$S = EH = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{377} \quad (3 - 5)$$

Ukoliko je točka promatranja unutar dalekog polja antena, tada antenski sustav predstavlja točkasti izvor zračenja. Ako točkasti izvor zrači jednako u svim smjerovima tada se emitirana snaga može izraziti prema [14]:

$$P_t = \oint \vec{S} d\vec{A} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi S \vec{e}_r * r^2 \sin \theta d\theta d\Phi \cdot \vec{e}_r = S \cdot 4\pi r^2 \quad (3 - 6)$$

Tada je gustoća snage točkastog izvora u slobodnom prostoru prema [14] jednaka:

$$S = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (3 - 7)$$

Ako je u pitanju usmjerena antena, gustoća snage se dobije tako da se pomnoži s dobitkom antene G prema [14]:

$$S = \frac{P_t G}{4\pi r^2} \quad (3 - 8)$$

Ako se u obzir uzme relacija (3 – 5) za slučaj efektivnih vrijednosti razmatranih veličina prema [14]:

$$\frac{E^2}{Z_0} = \frac{P_t G}{4\pi r^2} \quad (3 - 9)$$

pri čemu je  $Z_0 = 120\pi \approx 377 \Omega$ .

Tada slijedi da je prema [14]:

$$E = \frac{\sqrt{30P_tG}}{r} \quad (3 - 10)$$

pri čemu E predstavlja jakost električnog polja,  $P_t$  je emitirana snaga, G je dobitak antene, a r je udaljenost od antene

Efektivna izotropna zračena snaga (EIRP) se određuje prema [14]:

$$EIRP = P_t \cdot G \quad (3 - 11)$$

ukoliko se u obzir uzme omski gubitak  $L_0$  tada slijedi prema [14]:

$$EIRP = \frac{P_t G}{L_0} \quad (3 - 12)$$

Ukoliko antenski sustav ima N kanala tada je primjenom koncepta EIRP - a prema [14]:

$$S = \frac{N \cdot P_t G_t}{4\pi r^2} = \frac{N \cdot EIRP}{4\pi r^2} \quad (3 - 13)$$

odnosno tada je efektivna vrijednost električnog polja jednaka prema [14]:

$$E = \frac{\sqrt{30N \cdot P_t G}}{r} = \frac{\sqrt{30N \cdot EIRP}}{r} \quad (3 - 14)$$

Ovaj izraz se koristi u slučaju kada se točka promatranja nalazi u smjeru maksimalnog zračenja te ako su antene izolirane u slobodnom prostoru, [14]. Pod pretpostavkom da je zemlja idealno vodljiva tada se uzima u obzir i postojanje reflektiranog vala koji može pojačati ukupnu jakost polja na mjernom mjestu i do dva puta u odnosu na izraz (3 – 14). U tom slučaju za proračun jakosti električnog polja prema [14]:koristi izraz:

$$E = 2 \cdot \frac{\sqrt{30N \cdot EIRP}}{r} \quad (3 - 15)$$

To znači da ako dođe do najvećeg izlaganja čovjeka zračenju, ukupno polje zbog refleksije poprima dvostruku vrijednost upadnog polja prema [14].

### 3.2. Hrvatska načela za zaštitu od elektromagnetskog zračenja

Kako i u ostatku svijeta, tako se i u Republici Hrvatskoj primjenjuju određena načela i pravila za zaštitu od elektromagnetskog zračenja. U Hrvatskoj su granice izloženosti elektromagnetskom zračenju dosta niže s obzirom na ostale međunarodne norme. Pravilnik u kojemu su propisane sve

granice o izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju donesen od strane Ministarstva zdravstva Republike Hrvatske 2014. godine prema Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja je *Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja*, a 2019. godine je taj pravilnik izmijenjen i dopunjen, [13].

Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja definira da se proračun i mjerenje jakosti visokofrekvencijskih polja odvija prema normama HRN EN 50383:2012. i HRN EN 61566:2001. HRN EN 50383:2012. je norma za proračun i mjerenje jakosti elektromagnetskog polja i gustoće apsorbirane snage koja se odnosi na izloženost ljudi radijskim baznim postajama i nepokretnim krajnjim postajama u bežičnim telekomunikacijskim sustavima za frekvencije od 110 MHz do 40 GHz. Norma HRN EN 61566:2001. obuhvaća mjerenja izlaganja radiofrekvencijskim elektromagnetskim poljima u frekvencijskom području od 100 kHz do 1 GHz, [19]. Temeljni pojmovi koji se spominju u pravilniku su prema [20]:

1. Elektromagnetska polja jesu vremenski promjenjiva električna i magnetska polja frekvencije do 300GHz.
2. Impulsno polje je polje efektivne vrijednosti jakosti električnog i magnetskog polja, kao i gustoće magnetskog toka te za vrijeme trajanja jednog impulsa ne smiju prelaziti propisane vrijednosti.
3. Unutarnje (inducirano) električno polje predstavlja polje inducirano u biološkom tkivu uslijed vanjskog električnog i magnetskog polja generiranog od izvora neionizirajućeg zračenja. Vektorska je veličina i izražava se u voltima po metru (V/m)
4. Dodirna struja (I) jest struja koja teče tijekom dodira ljudskog tijela s vodljivim objektom u elektromagnetskom polju, a izražava se u miliamperima (mA). Može se rabiti kao referentna veličina za posredne učinke polja do frekvencije od 110MHz.
5. Jakost električnog polja (E) u određenoj točki prostora definira se silom na jedinični električni naboj u toj točki. Jakost električnog polja jest vektorska veličina i izražava se u voltima po metru (V/m).
6. Jakost magnetskog polja (H) definira se silom na naboj u gibanju. Vektorska je veličina i izražava se u (A/m). Jednaka je omjeru magnetske indukcije i permeabilnosti sredstva  $\mu$ .
7. Magnetska indukcija ili gustoća magnetskog toka (B) predstavlja vrijednost magnetskog toka koji prolazi jediničnom površinom postavljenom okomito na smjer magnetskog toka. Gustoća magnetskog toka je vektorska veličina, a izražava se u teslama (T).
8. Javna područja su područja u urbanim i ruralnim sredinama na koja nije ograničen pristup općoj populaciji, a nisu u području povećane osjetljivosti odnosno profesionalne izloženosti.

9. 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. Pod područjem povećane osjetljivosti podrazumijevaju se i neizgrađene površine namijenjene (prema urbanističkom planu) za gore navedene objekte.

Prema Pravilniku o izmjenama i dopunama pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja u nastavku slijedi tablica 3.1. koja pokazuje ograničenja za inducirano električno polje od 1 Hz do 100 Hz. U tablici 3.2. su pokazana ista ograničenja za inducirano električno polje od 100 Hz do 300 GHz. Slijedi tablica 3.3. koja pokazuje granične razine referentnih veličina za javna područja te tablica 3.4. koja pokazuje isto samo za područja povećane osjetljivosti. Nakon toga slijedi tablica 3.5. koja prikazuje granične razine električnog i magnetskog polja te gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za javna područja. Zatim dolazi tablica 3.6. koja prikazuje isto samo za područja povećane osjetljivosti. Tablica 3.7. prikazuje granične razine za vremenski promjenjive dodirne struje za vodljive objekte u području povećane osjetljivosti, [21].

**Tablica 3.1.** Temeljna ograničenja za inducirano električno polje za opću populaciju od 1 Hz do 100 kHz [21]

Frekvencijski opseg	Unutarne (inducirano) električno polje (V/m)	
	Središnji živčani sustav	Sva tkiva
1 - 10 Hz	$\frac{0,1}{f}$	0,4
10 - 25 Hz	0,01	
25 - 1000 Hz	$4 \cdot 10^{-4} \cdot f$	
1000 Hz - 3 kHz	0,47	
3 - 100 kHz	$1,35 \cdot 10^{-4} \cdot f$	$1,35 \cdot 10^{-4} \cdot f$

**Tablica 3.2.** Temeljna ograničenja za inducirano električno polje za opću populaciju od 100 Hz do 300 GHz [21]

Frekvencijski opseg	SAR (W/kg)			Gustoća snage S (w/m <sup>2</sup> )
	Cijelo tijelo	Glava i trup	Udovi	
100 kHz - 10 MHz	0,08	2	4	
10 MHz - 10 GHz	0,08	2	4	
10 - 300 GHz				10

**Tablica 3.3.** Granične razine referentnih veličina za javna područja [21]

Frekvencijski opseg	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage ekvivalentnog ravnog vala Sekv (W/m <sup>2</sup> )
1 - 8 Hz	10 <sup>4</sup>	$3,2 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	$4 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	
8 - 25 Hz	10 <sup>4</sup>	$4 \cdot \frac{10^3}{f}$	$5 \cdot \frac{10^3}{f}$	
25 - 800 Hz	$2,5 \cdot \frac{10^5}{f}$	$4 \cdot \frac{10^3}{f}$	$5 \cdot \frac{10^3}{f}$	
0,8 - 3 kHz	$\frac{250}{f}$	5	6,25	
3 - 100 kHz	83	5	6,25	
100 - 150 kHz	83	5	6,25	
0,15 - 1 MHz	83	$\frac{0,73}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,92}{\sqrt{f}}$	
1 - 10 MHz	$\frac{83}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,73}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,92}{\sqrt{f}}$	
10 - 400 MHz	26	$6,9 \cdot 10^{-2}$	$8,7 \cdot 10^{-2}$	1,8
400 - 2000 MHz	$1,3 \cdot \sqrt{f}$	$3,45 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$4,3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$4,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$
2 - 10 GHz	58	0,15	0,19	8,9
10 - 300 GHz	58	0,15	0,19	8,9

**Tablica 3.4.** Granične razine referentnih veličina za područja povećane osjetljivosti [21]

Frekvencijski opseg	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage ekvivalentnog ravnog vala Sekv (W/m <sup>2</sup> )
1 - 8 Hz	$4 \cdot 10^3$	$1,28 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	$4 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	-
8 - 25 Hz	$4 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot \frac{10^3}{f}$	$5 \cdot \frac{10^3}{f}$	-
25 - 800 Hz	$\frac{10^5}{f}$	$1,6 \cdot \frac{10^3}{f}$	$5 \cdot \frac{10^3}{f}$	-
0,8 - 3 kHz	$\frac{100}{f}$	2	2,5	-
3 - 100 kHz	34,8	2	2,5	-
100 - 150 kHz	34,8	$\frac{175}{f}$	$\frac{220}{f}$	-



0,15 - 1 MHz	34,8	$\frac{0,292}{f}$	$\frac{0,368}{f}$	-
1 - 10 MHz	$\frac{34,8}{\sqrt{f}}$	$\frac{0,292}{f}$	$\frac{0,368}{f}$	-
10 - 400 MHz	11,2	0,0292	0,0368	0,326
400 - 2000 MHz	$0,55 \cdot \sqrt{f}$	$1,48 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$1,84 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$\frac{f}{1250}$
2 - 10 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6
10 - 300 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6

**Tablica 3.5.** Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za javna područja [21]

Frekvencija F	Jakost električnog polja E(v/m)	Jakost magnetskog polja H(A/m)	Gustoća magnetskog toka B(μT)
100 - 400 MHz	450	1,2	1,5
400 - 2000 MHz	$22,5 \cdot \sqrt{f}$	$0,06 \cdot \sqrt{f}$	$0,075 \cdot \sqrt{f}$
2 - 300 GHz	975	2,58	3,24

**Tablica 3.6.** Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za područja povećane osjetljivosti [21]

Frekvencija f	Jakost električnog polja E(V/m)	Jakost magnetskog polja H(A/m)	Gustoća magnetskog toka B(μT)
100 - 400 MHz	180	0,48	0,6
400 - 2000 MHz	$9 \cdot \sqrt{f}$	$0,024 \cdot \sqrt{f}$	$0,03 \cdot \sqrt{f}$
2 - 300 GHz	390	1,03	1,29

**Tablica 3.7.** Granične razine za vremenski promjenjive dodirne struje za vodljive objekte u području povećane osjetljivosti [21]

Frekvencija f /p>	Najveća dodirna struja I (mA)
< 2,5 kHz	0,5
2,5 - 100 kHz	0,2 f
100 kHz - 110 MHz	20

Prema [21], u slučaju elektromagnetskog polja više frekvencija za temeljene veličine moraju biti zadovoljeni slijedeći uvjeti:

1. U frekvencijskom području do 10MHz mora biti zadovoljeno slijedeće:

$$\sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_f}{J_{gf}} \leq 1 \quad (3 - 16)$$

gdje  $J_f$  predstavlja gustoću inducirane struje na frekvenciji f, a  $J_{gf}$  graničnu razinu gustoće inducirane struje na frekvenciji f.

2. U frekvencijskom području iznad 100 kHz mora biti zadovoljeno slijedeće:

$$\sum_{100\text{kHz}}^{100\text{GHz}} \frac{SAR_f}{SAR_{g,f}} + \sum_{>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_f}{S_{g,f}} \leq 1 \quad (3 - 17)$$

gdje  $SAR_f$  predstavlja specifičnu apsorbiranu snagu na frekvenciji f,  $SAR_{g,f}$  predstavlja graničnu razinu SAR na frekvenciji f.  $S_f$  predstavlja gustoću snage na frekvenciji f, a  $S_{g,f}$  graničnu razinu gustoće snage na frekvenciji f.

Prema [21], u slučaju elektromagnetskih polja više frekvencija za referentne veličine moraju biti zadovoljeni slijedeći uvjeti:

1. U frekvencijskom području do 10MHz mora biti zadovoljeno:

$$\sum_{1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_f}{E_{g,f}} + \sum_{>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_f}{E_{g1}} \leq 1 \quad (3 - 18)$$

$$\sum_{1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \frac{H_f}{H_{g,f}} + \sum_{>150\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_f}{H_{g1}} \leq 1 \quad (3 - 19)$$

gdje  $E_f$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti električnog polja u V/m na frekvenciji  $f$ ,  $E_{g,f}$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti granične razine električnog polja u V/m na frekvenciji  $f$ , a  $E_{g_1}$  vrijednost jakosti granične razine električnog polja.  $H_f$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti magnetskog polja u A/m na frekvenciji  $f$ ,  $H_{g,f}$  predstavlja efektivna vrijednost jakosti granične razine magnetskog polja u A/m na frekvenciji  $f$ , a  $H_{g_1}$  predstavlja vrijednost jakosti granične razine magnetskog polja.

2. U frekvencijskom području iznad 100 kHz također moraju biti zadovoljeno:

$$\sum_{1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \left( \frac{E_f}{E_{g_2}} \right)^2 + \sum_{>1\text{MHz}} \left( \frac{E_f}{E_{g,f}} \right)^2 \leq 1 \quad (3 - 20)$$

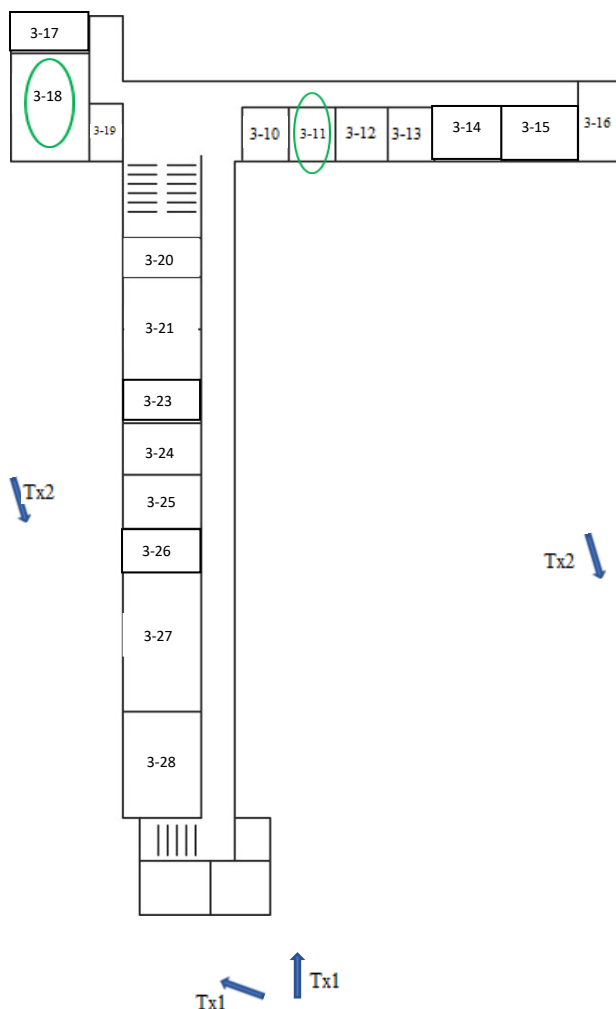
$$\sum_{1\text{Hz}}^{150\text{kHz}} \left( \frac{H_f}{H_{g_2}} \right)^2 + \sum_{>150\text{kHz}} \left( \frac{H_f}{H_{g,f}} \right)^2 \leq 1 \quad (3 - 21)$$

gdje  $E_f$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti električnog polja u V/m na frekvenciji  $f$ ,  $E_{g,f}$  efektivnu vrijednost jakosti granične razine električnog polja u V/m na frekvenciji  $f$ , a  $E_{g_2}$  vrijednost jakosti granične razine električnog polja.  $H_f$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti magnetskog polja u A/m na frekvenciji  $f$ ,  $H_{g,f}$  efektivnu vrijednost jakosti granične razine magnetskog polja u A/m na frekvenciji  $f$ , a  $H_{g_2}$  vrijednost jakosti granične razine magnetskog polja.

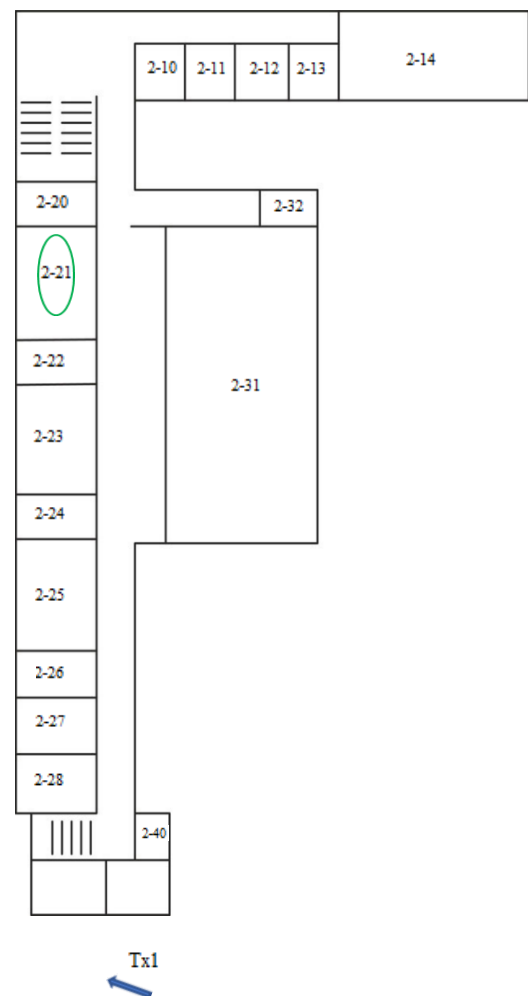
## 4. MJERENJE JAKOSTI POLJA BAZNIH POSTAJA I MOBILNOG UREĐAJA

### 4.1. Opis mjernih mjesta

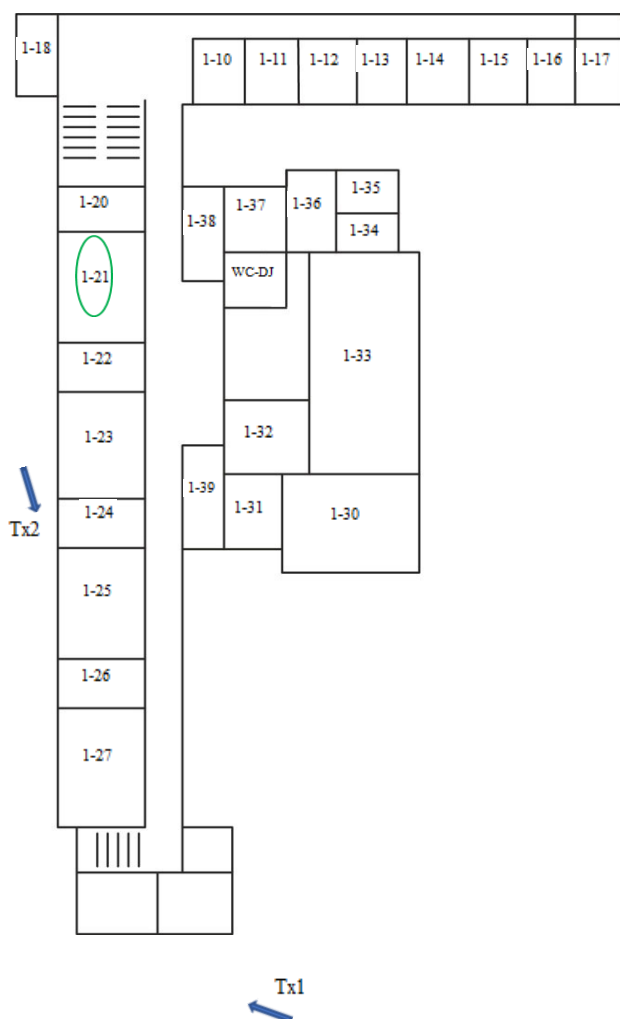
U okviru ovog završnog rada provedeno je mjerenje jakosti polja baznih postaja i mobilnih uređaja u nekoliko definiranih scenarija. Provedena su mjerenja u šest prostorija u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, na adresi Kneza Trpimira 2B, Osijek. Prva dva mjerenja provedena su na 3.katu u prostorijama 3-18 i 3-11 čiji je tlocrt vidljiv na slici 4.1. Treće mjerenje provedeno je na 2. katu u prostoriji 2-21 čiji je tlocrt vidljiv na slici 4.2. Četvrto mjerenje provedeno je na 1. katu u prostoriji 1-21 čiji je tlocrt prikazan na slici 4.3, dok su posljednja dva mjerenja provedena u prizemlju u prostorijama 0-33 i 0-20 čiji je tlocrt dan na slici 4.4. Na tlocrtima su zelenim krugom označene prostorije u kojima su provedena mjerenja, a strelicom i oznakom Tx1 smjer dolaska signala s najbliže bazne postaje na zgradi u ulici Kneza Trpimira 2a, a Tx2 iz smjera bazne postaje na zgradi u ulici Kneza Trpimira 4.



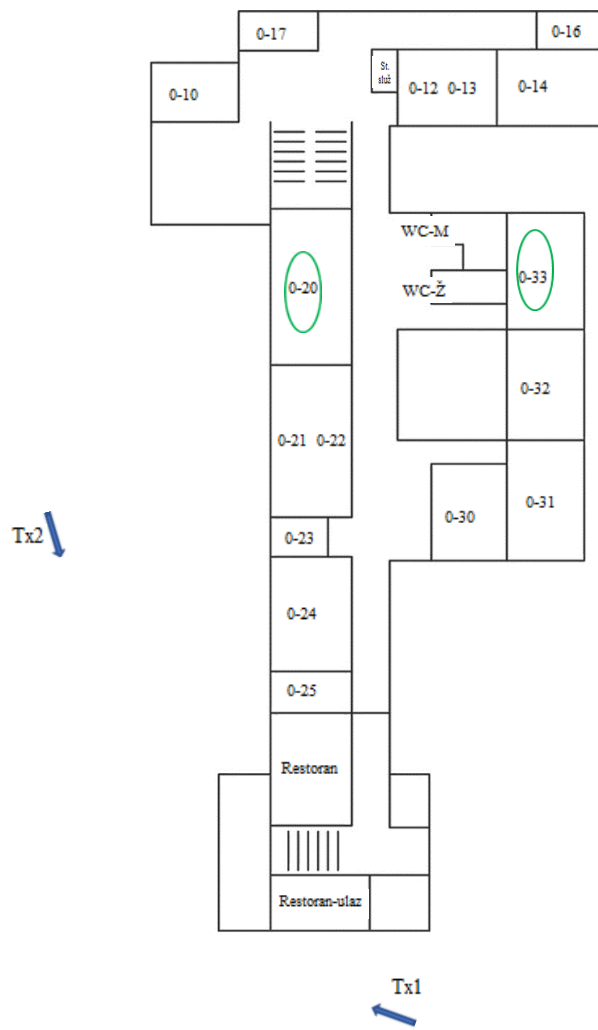
Slika 4.1. Tlocrt 3. kata, [22]



Slika 4.2. Tlocrt 2. kata, [22]



**Slika 4.3.** Tlocrt 1. kata, [22]



**Slika 4.4.** Tlocrt prizemlja, [22]

Na slici 4.5. prikazana je karta s označenim smjerovima zračenja baznih postaja Tx1 i Tx2, na temelju podataka s interaktivne karte HAKOM-a, [23]. Zgrada fakulteta nalazi se u neposrednoj blizini bazne postaje Tx1.



**Slika 4.5.** Smjerovi zračenja baznih postaja, [23]

U tablici 4.1. dani su podaci za sve sustave bazne postaje Tx1, a u tablici 4.2. podaci za sve sustave bazne postaje Tx2. Smjer zračenja prikazuje smjer zračenja baznih postaja te je izražen u stupnjevima, efektivna izračena snaga (ERP) izražena je u dBW dok je visina antenskog sustava izražena u metrima.

**Tablica 4.1.** Podaci za sve sustave bazne postaje Tx1, [23]

Tehnologija	Smjer zračenja (°)	ERP (dBW)	Visina antenskog sustava (m)
GSM	110	24.86	37.6
	245	24.86	36.2
	355	24.86	37.6
	70	29.62	34
	180	29.62	33
	280	29.62	34
UMTS	70	29.92	34
	70	30.87	34
	180	29.92	33
	180	30.87	33
	280	29.92	34
	280	30.87	34
	110	27.87	37.6
	245	27.87	36.2
	355	27.87	37.6
LTE	110	27.62	37.6
	110	29.62	37.6
	245	27.62	36.2
	245	29.62	36.2
	355	27.62	37.6
	355	29.62	37.6
	70	29.62	34
	70	30.62	34
	180	29.62	33
	180	30.62	33
	280	29.62	34
	280	30.62	34

**Tablica 4.2.** Podaci za sve sustave bazne postaje Tx2, [23]

Tehnologija	Smjer zračenja (°)	ERP (dBW)	Visina antenskog sustava (m)
GSM	55	25.81	36
	150	25.81	36
	275	25.81	36
UMTS	55	27.06	36
	55	28.16	36
	150	27.06	36
	150	28.16	36
	275	27.06	36
	275	28.16	36
LTE	55	22.85	36
	55	22.85	36
	55	25.85	36
	55	28.85	36
	150	22.85	36
	150	22.85	36
	150	25.85	36
	150	28.85	36
	275	22.85	36
	275	22.85	36
	275	25.85	36
	275	28.85	36

Jakost elektromagnetskog vala ovisi o uvjetima prostiranja vala između bazne postaje i mjernog mjesta. U tablici 4.3 opisani su uvjeti prostiranja vala u prostorijama 3-18, 3-11, 2-21, 1-21, 0-33 i 0-20.

**Tablica 4.3.** Uvjeti prostiranja vala s obzirom na položaj mjernog mjesta

Prostorija	Uvjeti prostiranja vala
3-18	Između bazne postaje Tx1 i mjernog mjesta ne postoji optička vidljivost, ali se mjerno mjesto nalazi se na trećem katu i postoji mogućnost dolaska signala kroz velike prozore s južne strane uslijed refleksije od okolnih zgrada, ili signala Tx2 ogibom oko



	zgrada ili krovova zgrada koje su između Tx2 i mjernog mjesta
3-11	Između bazne postaje Tx1 i mjernog mjesta postoji optička vidljivost (prepreka prostiranju vala je samo nemetalizirano prozorsko staklo), mjerno mjesto nalazi se na trećem katu te je pretpostavka da će jakost polja ovdje biti najjača
2-21	Između bazne postaje Tx1 i mjernog mjesta ne postoji optička vidljivost, mjerno mjesto se nalazi na drugom katu i postoji mogućnost dolaska signala kroz velike prozore s južne strane uslijed refleksije od okolnih zgrada, ili signala Tx2 ogibom oko zgrada ili krovova zgrada koje su između Tx2 i mjernog mjesta
1-21	Između bazne postaje Tx1 i mjernog mjesta ne postoji optička vidljivost, mjerno mjesto se nalazi na prvom katu (ispod prostorije 2-21) i postoji mogućnost dolaska signala kroz velike prozore s južne strane uslijed refleksije od okolnih zgrada, ili signala Tx2 ogibom oko zgrada ili krovova zgrada koje su između Tx2 i mjernog mjesta.
0-33	Prostorija se nalazi u prizemlju, okružena zidovima, te se može očekivati najveće gušenje signala.
0-20	Između bazne postaje Tx1 i mjernog mjesta ne postoji optička vidljivost; mjerno mjesto se nalazi u prizemlju (ispod prostorije 1-21) i postoji mogućnost dolaska signala kroz velike prozore s južne strane uslijed refleksije od okolnih zgrada, ili signala Tx2 ogibom

	oko zgrada ili krovova zgrada koje su između Tx2 i mjernog mjesta.
--	--

## 4.2. Postupak mjerenja

Za mjerenje jakosti električnog polja E korištena je sljedeća mjerna oprema: sustav FIELD NOSE (proizvođač Seibersdorf Research), prikazan slikom 4.6., zatim analizator spektra Anritzu MS2711D prikazan slikom 4.7. te prijenosno računalo.



**Slika 4.6.** Sustav FIELD NOSE



**Slika 4.7.** Spektralni analizator

Mjerenje na pojedinom mjernom mjestu provedeno je pomoću računalnog programa, u kojem su postavljeni parametri mjerenja: frekvencijska područja na kojima rade GSM, UMTS te LTE mreže u Republici Hrvatskoj, širina RBW (Resolution Bandwidth) filtra, referentna razina, te mjerenje jakosti električnog polja A3D metodom. Sustav FIELD NOSE je bio spojen na spektralni analizator, a spektralni analizator na računalo. Osim mjerenja signala silazne veze, s ciljem da se analizira jakost signala uzlazne veze provedeno je i mjerenje signala mobitela postavljenog neposredno pored mjerne antene na kojem je uspostavljen poziv preko 3G (UMTS) mreže. S obzirom da je signal uzlazne veze uspostavljan u svakoj prostoriji iznova, dodijeljeni kanali uzlazne veze su različiti za svako mjerenje.

Frekvencijska područja na kojima je provedeno mjerenje postavljena su u skladu s planovima dodjele radijskih frekvencija prema Pravilniku o izmjenama Pravilnika o namjeni radiofrekvencijskog spektra (NN 94/15) te su u skladu s propisanim odredbama i zakonima. Prema

[23], frekvencijsko područje u rasponu 791-821 MHz dodijeljeno je za silaznu vezu, a područje od 832 do 862 MHz za uzlaznu vezu LTE sustava. Prema [24], frekvencijsko područje od 880 do 915 MHz dodijeljeno je za uzlaznu vezu, a 925-960 za silaznu vezu za GSM, UMTS i LTE. Nadalje, područje od 1710 do 1785 MHz dodijeljeno je za uzlaznu vezu, dok je područje od 1805 do 1880 MHz dodijeljeno je za silaznu vezu za GSM, UMTS i LTE. Prema [25], frekvencijsko područje od 1452 do 1492 MHz dodijeljeno je za TDD sustave UMTS i LTE. Prema [26], frekvencijsko područje od 1920 do 1980 MHz dodijeljeno je za uzlaznu vezu, a područje od 2110 do 2170 MHz za silaznu vezu UMTS i LTE sustava. Prema [27], frekvencijsko područje od 2500 do 2570 MHz dodijeljeno je za uzlaznu vezu, područje od 2620 do 2690 za silaznu vezu LTE sustava, a područje od 2570 do 2620 MHz za TDD sustave. Tablica 4.4. u nastavku prikazuje područja uzlazne i silazne veze, kao i širinu kanala, širinu bloka te način primjene pojedinih frekvencija u Republici Hrvatskoj.

**Tablica 4.4.** Područje uzlazne i silazne veze za određeno frekvencijsko područje u Republici Hrvatskoj, [24], [25], [26], [27], [28]

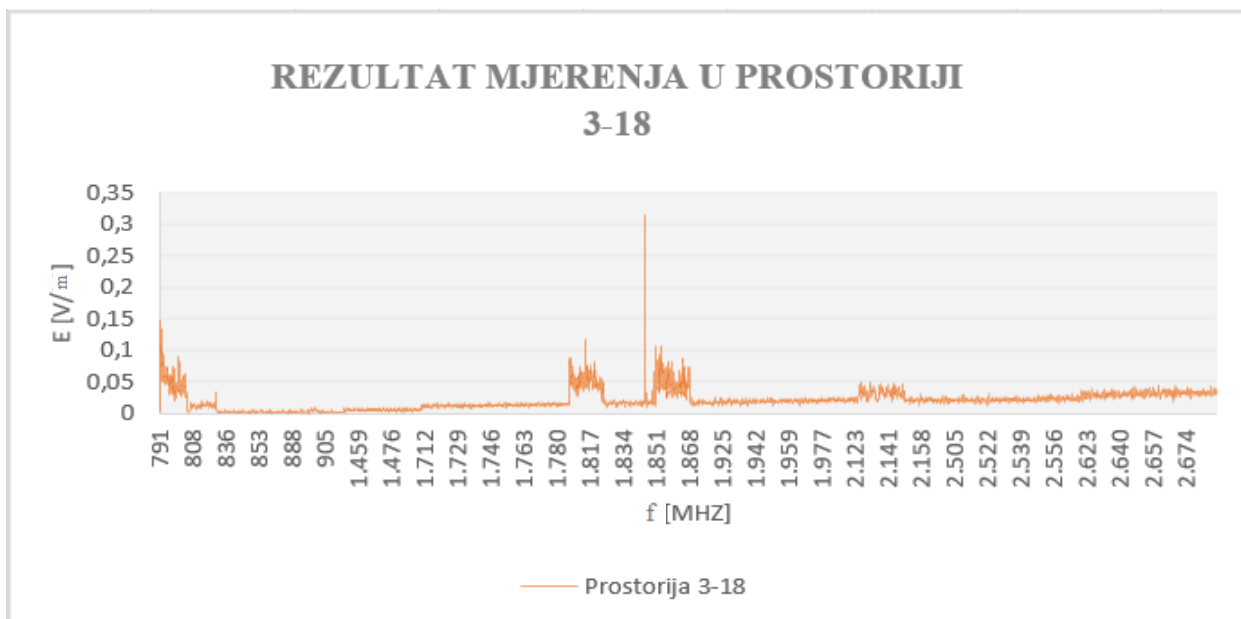
Frekvencijski pojas (MHz)	Područje uporabe	Primjena	Raster	Širina kanala	Širina bloka
791-821/832-862	Republika Hrvatska	LTE	100 kHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5 MHz
880-915/925-960	Republika Hrvatska	GSM	200 kHz	200 kHz	5 MHz
		UMTS	200 kHz	Nominalno 5 MHz	5 MHz
		LTE	100 kHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5 MHz
1710-1785/1805-1880	Republika Hrvatska	GSM	200 kHz	200 kHz	5 MHz
		UMTS	200 kHz	Nominalno 5 MHz	5 MHz
		LTE	100 kHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5 MHz
1452-1492	Republika Hrvatska	UMTS	200 kHz	Nominalno 5 MHz	5 MHz
		LTE	100 kHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5 MHz
1920-1980/2110-2170	Republika Hrvatska	UMTS	200 kHz	Nominalno 5 MHz	5 MHz
		LTE	100 kHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5 MHz
2500-2690	Republika Hrvatska	LTE	100 kHz	1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz	5 MHz

### **4.3. Rezultati mjerenja**

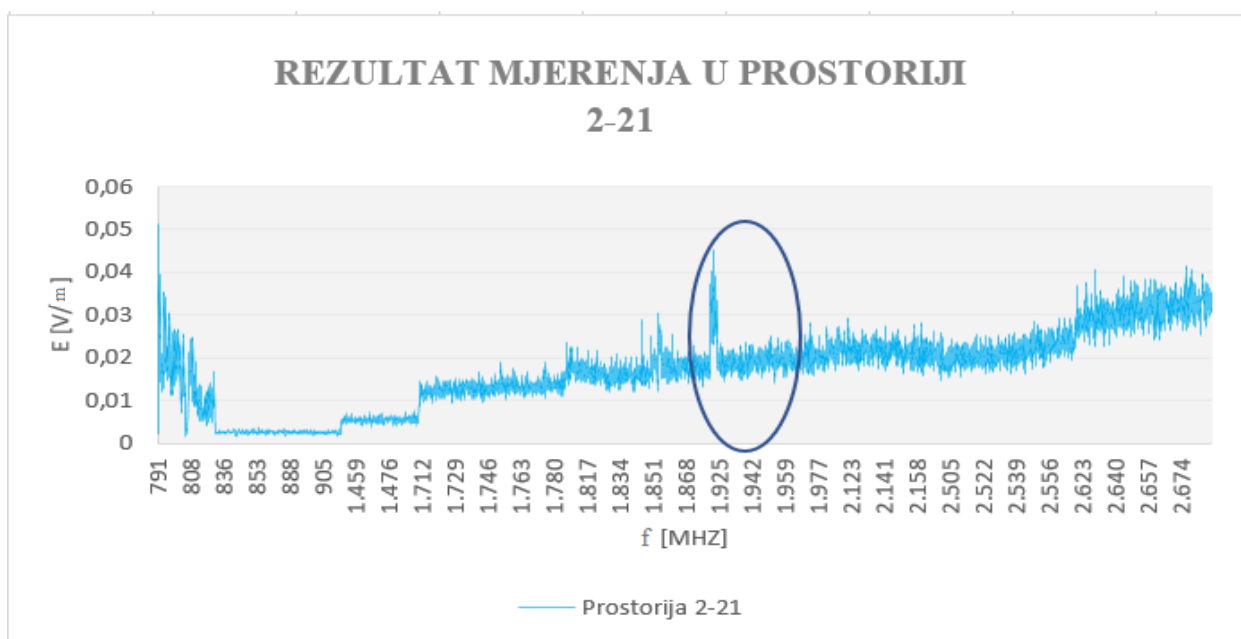
#### **4.3.1. Usporedba jakosti električnog polja kod različitih uvjeta propagacije**

Mjerena je jakost polja u prostorijama 3-18, 3-11, 2-21, 1-21, 0-33 i 0-20. Rezultati mjerenja su dani na slikama 4.8. do 4.13. Na slikama je na apscisi prikazana frekvencija u megahercima, a na ordinati jakost polja u voltima po metru. Frekvencije se nalaze u rasponu od 791 MHz i 2690 MHz. Na slici 4.8. prikazana je jakost polja u prostoriji 3-18. Jakost polja je znatno ispod referentnih graničnih vrijednosti za područja povećane osjetljivosti. Slijedi slika 4.9. koji prikazuje jakost polja u prostoriji 2-21 s označenim signalom uzlazne veze (plavi krug). Uzlazna veza nalazi se u području od 1920 do 1980 MHz. Jakost polja je ispod referentnih graničnih vrijednosti za područja povećane osjetljivosti. Na slici 4.10. prikazana je jakost polja u prostoriji 1-21 s označenim signalom uzlazne veze. Uzlazna veza se nalazi u području od 880 do 915 MHz. Jakost polja je u skladu s referentnim graničnim vrijednostima za područja povećane osjetljivosti. Slika 4.11. prikazuje jakost polja u prostoriji 0-20 na frekvencijama od 791 MHz do 2690 MHz s označenim signalom uzlazne veze. Uzlazna veza se nalazi u području od 880 do 915 MHz. Jakost polja je u skladu s referentnim graničnim vrijednostima za područja povećane osjetljivosti.

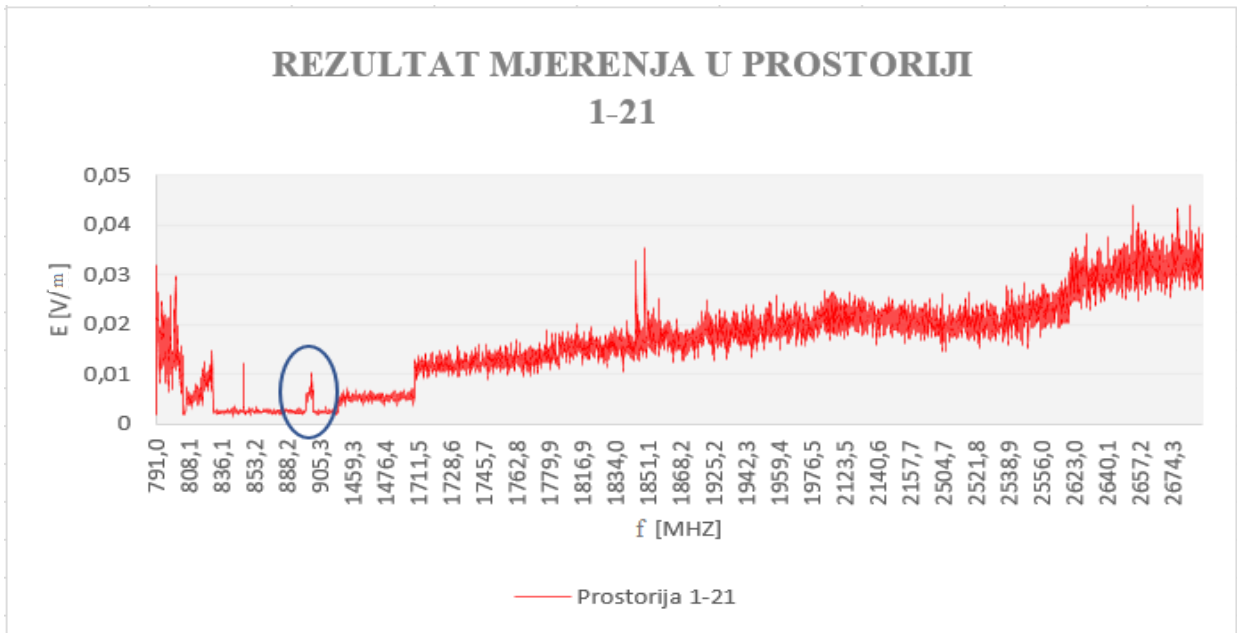
Ako se usporede izmjerene vrijednosti u prostorijama 3-18, 2-21, 1-21 i 0-20 koje su na različitim katovima, jedna ispod druge (slike 4.8 do 4.11), može se vidjeti da je polje najjače u prostoriji 3-18 jer se nalazi na 3. katu, odnosno na najvećoj visini što u pravilu osigurava bolji prijenosni kanal za radijski signal. Najmanja jakost polja signala silazne veze je u prostoriji 0-20 koja se nalazi u prizemlju, pa se može pretpostaviti da polju doprinose samo zrake koje dolaze kroz prozor na južnoj strani zgrade i to refleksijom od susjednih zgrada. Zanimljivo je primijetiti da je jakost polja izmjeren za uzlaznu vezu u prostoriji 0-20 značajno veća od jakosti polja uzlazne veze u prostorijama 1-21, 2-21 i 3-18, što je očekivano jer u uvjetima slabog signala bazne postaje, mobilna postaja povećava svoju odašiljačku snagu kako bi signal uzlazne veze dopro do bazne postaje. Treba napomenuti da je mjerenje signala uzlazne veze provedeno s mobilnim uređajem postavljenim neposredno uz mjernu antenu, što znači u reaktivnom polju, tako da se izmjerene vrijednosti moraju pažljivo interpretirati.



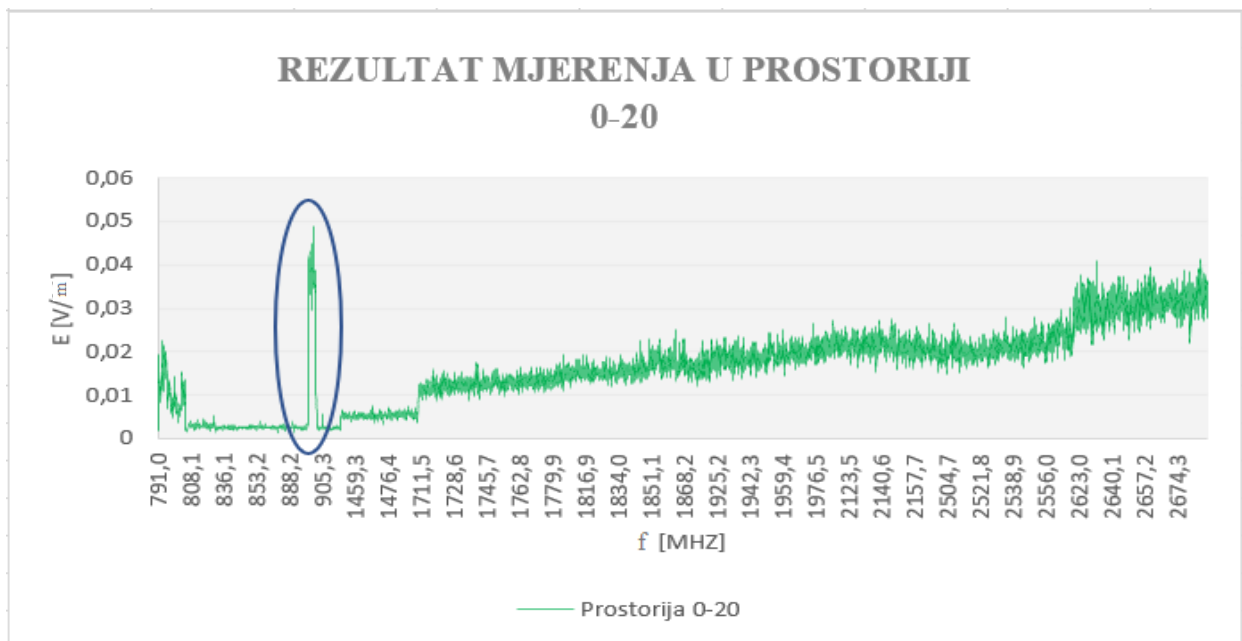
**Slika 4.8.** Izmjerene vrijednosti jakosti električnog polja u prostoriji 3-18



**Slika 4.9.** Izmjerene vrijednosti jakosti električnog polja u prostoriji 2-21

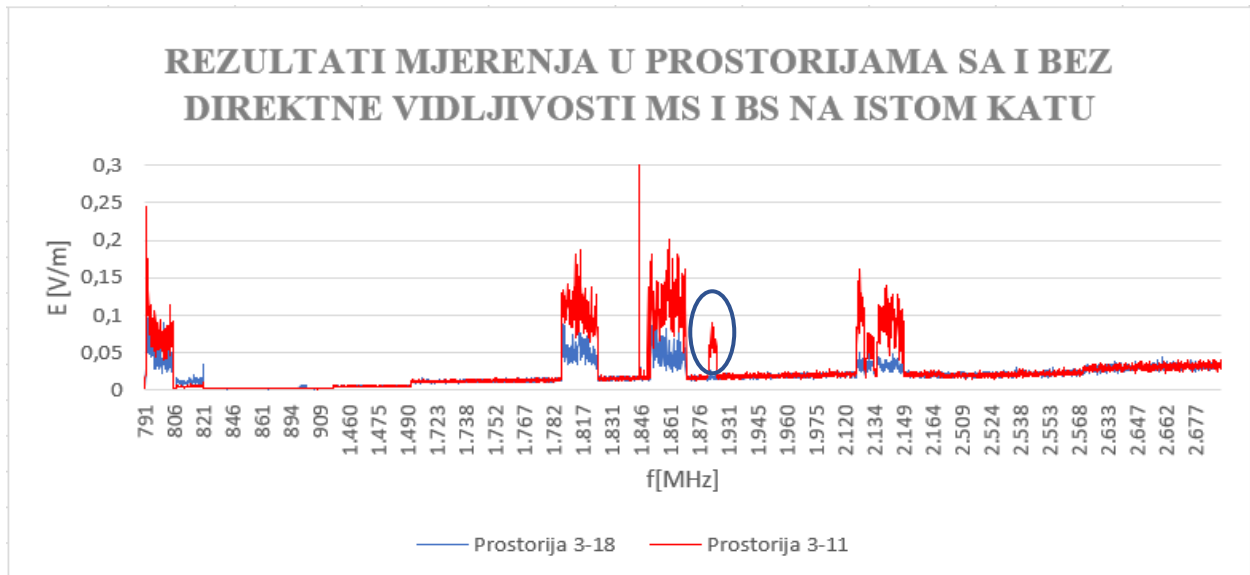


**Slika 4.10.** Jakost polja u prostoriji 1-21



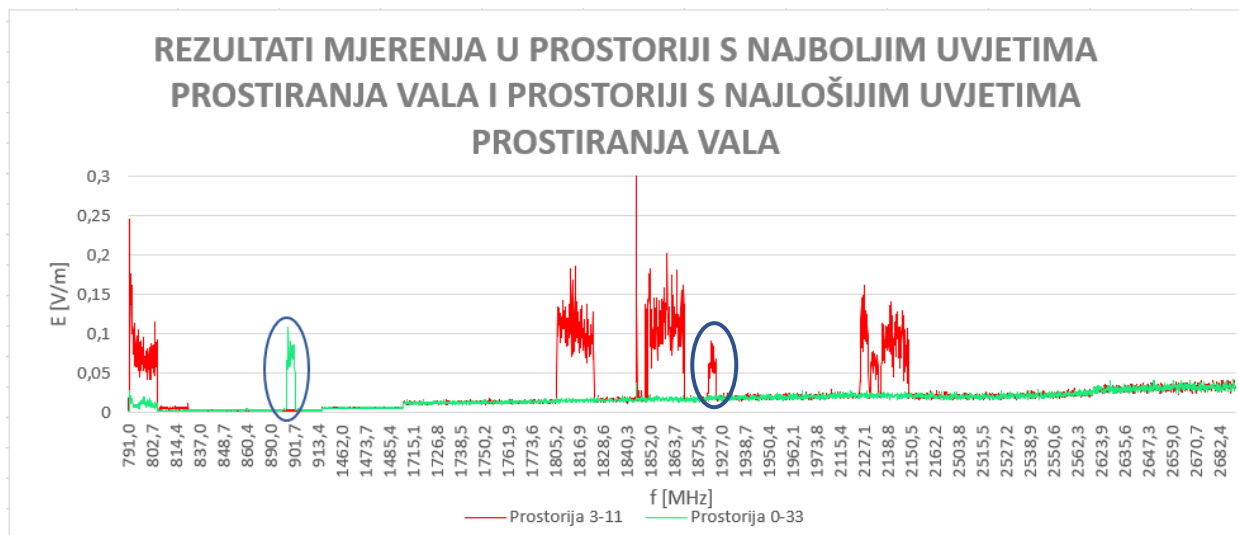
**Slika 4.11.** Jakost polja u prostoriji 0-20

Slika 4.12. prikazuje usporedbu jakosti polja u prostorijama koje su na istom katu, pri čemu prostorija 3-18 nema direktnu vidljivost bazne postaje i mobilne postaje, dok prostorija 3-11 ima direktnu vidljivost bazne i mobilne postaje. Prema slici se vidi da je jakost polja puno veća u prostoriji 3-11, nego u prostoriji 3-11. Jakost polja je u oba slučaja znatno ispod referentnih graničnih vrijednosti za područja povećane osjetljivosti.



**Slika 4.12.** Usporedba jakosti polja u prostorijama 3-18 i 3-11

Slika 4.13. prikazuje rezultate mjerenja u prostoriji 3-11 s najboljim i prostoriji 0-33 s najlošijim uvjetima prostiranja vala. Iz dobivenog rezultata vidi se koliko je polje jače u prostoriji 3-11 s obzirom na prostoriju 0-33 jer su antene bazne postaje Tx1 usmjerene prema prostoriju 3-11 i postoji direktna vidljivost, dok je prostorija 0-33 u prizemlju i na putanji signala se nalazi više zidova koji značajno prigušuju signal. Signal uzlazne veze (označen plavom elipsom) vidljiv je samo za prostoriju 0-33 i značajno je veći od signala silazne veze u istoj prostoriji. Uzlazna veza nalazi se u frekvencijskom području od 880 do 915 MHz. Iako je jakost električnog polja u oba slučaja ispod referentnih graničnih vrijednosti za područja povećane osjetljivosti, vidljivo je da zbog blizine mobilnog uređaja mjerne anteni te vrlo loših uvjeta prostiranja signala, u prostoriji 0-33 jakost električnog polja signala uzlazne veze gotovo jednaka jakosti električnog polja signala silazne veze u prostoriji s najboljim signalom. Ovi rezultati pokazuju da se u razmatranju utjecaja elektromagnetskog zračenja na čovjeka mora uzeti u obzir i zračenje mobilnog uređaja posebno u uvjetima slabog signala.



**Slika 4.13.** Prostorija s najboljim i najlošijim uvjetima

### 4.3.2. Provjera uvjeta za elektromagnetska polja više frekvencija

Prema [21], jednadžba (4-1) prikazuje zahtjev koji mora biti zadovoljen kada postoji više izvora zračenja, odnosno elektromagnetskih polja više frekvencija u frekvencijskom području iznad 100 kHz,

$$\sum_{100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left( \frac{E_f}{E_{g2}} \right)^2 + \sum_{>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{E_f}{E_{g,f}} \right)^2 \leq 1 \quad (4-1)$$

gdje  $E_f$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti električnog polja u V/m na frekvenciji  $f$ ,  $E_{g,f}$  predstavlja efektivnu vrijednost jakosti granične razine električnog polja u V/m na frekvenciji  $f$ , a  $E_{g2}$  predstavlja vrijednost jakosti razine graničnog polja.

Tablica 4.5. prikazuje rezultate dobivene prema formuli (4-1) za jakosti polja izmjerenih u pojedinim prostorijama. Prema dobivenim rezultatima za sve prostorije je suma prema formuli (4-1) manja od 1 te je zadovoljen zahtjev za elektromagnetska polja više frekvencija. Najveća suma je dobivena za polja u prostoriji 3-11, što je za očekivati jer tu postoji direktna vidljivost antene bazne postaje i mjerne antene. Važno je napomenuti da je i ovdje suma značajno manja od 1 što pokazuje da bez obzira na postojanje većeg broja izvora zračenja i dobre uvijete prostiranja signala, elektromagnetsko polje je značajno ispod razine koja prema postojećim spoznajama ugrožava ljudsko zdravlje.



**Tablica 4.5.** Prostorije i uvjet koji treba biti zadovoljen u frekvencijskom području iznad 100 kHz

Prostorija	$\sum_{100kHz}^{1MHz} \left( \frac{E_f}{E_{g2}} \right)^2 + \sum_{>1MHz}^{300GHz} \left( \frac{E_f}{E_{g.f}} \right)^2$
3-18	0,007430050
3-11	0,021415197
2-21	0,003606022
1-21	0,003380859
0-31	0,003379937
0-20	0,003963249

## ZAKLJUČAK

Ljudi su svakodnevno izloženi elektromagnetskom zračenju, kod kuće, na poslu i na bilo kojem mjestu na kojem se nađu. Često se postavljaju pitanja koliko utjecaj ima elektromagnetsko zračenje na ljudsko zdravlje. Zbog razvoja pokretnih komunikacija dolazi do potrebe za povećanjem broja baznih postaja te se pokreće sve više istraživanja o štetnosti i utjecaju zračenja na organizam ljudi.

Kako bi se zaštitilo ljudsko zdravlje, rade se izračuni i mjerenja jakosti električnog polja te se tako dobiveni rezultati uspoređuju s onima koje je propisalo Ministarstvo zdravlja u Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja. Bitno je da su jakosti polja unutar propisanih granica kako elektromagnetsko zračenje ne bi bilo djelovalo štetno na ljudski organizam. Važno je odrediti jakost polja na mjestima koja su najviše izložena elektromagnetskom zračenju, odnosno mjesta gdje je jakost polja najveća.

U okviru završnog rada provedeno je mjerenje jakosti signala baznih postaja i mobilnih uređaja u 6 različitih prostorija na različitim visinama i različitim pozicijama u odnosu na antene baznih postaja. Rezultati mjerenja su pokazali da je jakost polja silazne veze najjače na najvećoj visini u prostoriji koja ima direktan pogled na baznu postaju, dok se smanjenjem visine polje silazne veze smanjilo. Polje je bilo najslabije u prizemlju gdje zrake koje odašilje bazna postaja gotovo ni ne dopiru. Nasuprot jakosti polja silazne veze, jakost polja uzlazne veze je bila najveća u prostorijama u prizemlju gdje su mobilni uređaji odašiljali najvećom snagom kako bi kompenzirali veliko gušenje signala zbog loših uvjeta prostiranja. Unatoč ovim razlikama, u svim su prostorijama sve izmjerene vrijednosti jakosti električnih polja značajno ispod dozvoljenih graničnih vrijednosti polja za područja povećane osjetljivosti.

## LITERATURA

- [1] M., Vaezi, Y., Zhang, Cloud Mobile Networks, Springer, USA, 2017.
- [2] M., Jakovčić, Svijet kao globalno selo – povodom Međunarodnog dana telekomunikacija, dostupno na: <https://www.geografija.hr teme/promet-i-energetika/svijet-kao-globalno-selo-povodom-medunarodnog-dana-telekomunikacija/> [4.5.2020.]
- [3] L. G., Stüber, Principles of Mobile Communication, Fourth Edition, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2017.
- [4] Arhitektura GSM mreže, Fakultet prometnih znanosti, dostupno na: <https://www.fpz.unizg.hr/zto/PRSUS/GSM.pdf> [4.5.2020.]
- [5] Difference between AMPS, TACS, NMT Analog cellular telephones: AMPS, TACS, NMT, RF Wireless World, dostupno na: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/AMPS-vs-TACS-vs-NMT.html> [17.6.2020.]
- [6] Z., Valkova, Fig 9: Research gate, dostupno na: [https://www.researchgate.net/figure/FDMA-left-and-FDMA-with-TDMA-right\\_fig7\\_220672901](https://www.researchgate.net/figure/FDMA-left-and-FDMA-with-TDMA-right_fig7_220672901) [17.6.2020.]
- [7] F., Kamperman, Code Sequences for Direct Sequence CDMA: Wireless Communication, dostupno na: <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/cdma/codes/codes.htm> [17.6.2020.]
- [8] All about the technology: Access Technologies (FDMA, TDMA, CDMA), International Telecommunication Union (ITU), dostupno na: <http://www.itu.int/osg/spuold/ni/3G/technology/index.html> [17.6.2020.]
- [9] E., Pateromichelakis, J., Gebert, T., Mach, J., Belschner, W., Guo, N., Kuruvatti, V., Venkatasubramanian, C., Kilic, IEEE Access: Service-Tailored User-Plane Design Framework and Architecture Considerations in 5G Radio Access Networks, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8003282> [20.6.2020.]
- [10] B., Burazer, Budućnost mobilnih komunikacija i izazovi normizacije: Peta generacija, Virtualizacija mrežnih funkcija, Hrvatski zavod za norme, dostupno na: <https://www.hzn.hr/UserDocsImages/pdf/EISBudu%C4%87nost%20mobilnih%20komunikacija%20i%20izazovi%20normizacije.pdf> [20.6.2020.]

- [11] B., Bubanja, Sve o 5G tehnologiji: U petoj brzini!, dostupno na: <https://pcpress.rs/sve-o-5g-tehnologiji-u-petoj-brzini/> [20.6.2020.]
- [12] M.Benisha, R.Thandaiah Prabu, Thulasi Bai, Evolution of Mobile Generation Technology, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-7, Issue-5S4, February 2019 [11.7.2020.]
- [13] D., Poljak, Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja – dozimetrija upadnog vala, dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/124762> [23.5.2020.]
- [14] Y. A., Sambo, F., Héliot, M. A., Imran, A Survey and Tutorial of Electromagnetic Radiation and Reduction in Mobile Communication Systems, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6932477> [4.5.2020.]
- [15] S., Rupiće, Nove granice bliskog i dalekog polja te granične razine izloženosti pri mjerenju i izračunu elektromagnetskih polja, dostupno na: [https://bib.irb.hr/datoteka/924556.8.HKIE\\_2015.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/924556.8.HKIE_2015.pdf) [23.5.2020.]
- [16] everythingRF, What are Near Field and Far Field Regions of an Antenna, dostupno na: <https://www.everythingrf.com/community/what-are-near-field-and-far-field-regions-of-an-antenna> [23.5.2020.]
- [17] M., Pecotić, Mobiteli možda zrače više nego što je dopušteno, dostupno na: <https://usporedi.hr teme/mobiteli-mozda-zrace-vise-nego-sto-je-dopusteno> [4.5.2020.]
- [18] P., Kitowski, Measuring mobile phone radiation, dostupno na: <https://muditalab.com/measuring-mobile-phone-radiation-784834d7cc98> [23.5.2020.]
- [19] Rupiće S, Određivanje pozicije najveće izloženosti pri mjerenju jakosti električnog polja u današnjim komunikacijskim sustavima, HKIE, 2016.
- [20] S., Varga, Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, Narodne novine, broj 91/10, NN 146/2014, Zagreb, 13.11.2014
- [21] M., Kujundžić, Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja, Narodne novine, broj 91/10, NN 31/2019, str(11), Zagreb, 18.03.2019.
- [22] FERIT, Prostor i opremljenost, Trpimirova, dostupno na: <https://www.ferit.unios.hr/fakultet/prostor-i-opremljenost/trpimirova#anc> [24.8.2020.]

[23] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Radijske postaje, dostupno na: <http://mapiranje.hakom.hr/hr-HR/RadijskePostaje#sthash.4zvXwqqe.RsU8x3jN.dpbs> [24.8.2020.]

[24] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Plan dodjele za frekvencijski pojas 791-821/832-862 MHz, Narodne novine br. 62/19 i 68/19, dostupno na: [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan\\_dodjele\\_800MHz-procisceni-20190718.pdf](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan_dodjele_800MHz-procisceni-20190718.pdf) [15.8.2020.]

[25] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Plan dodjele za frekvencijske pojaseve 880-915/925-960 MHz i 1710-1785/1805-1880 MHz, Narodne novine br. 62/19 i 68/19, dostupno na: [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan\\_dodjele\\_900-1800MHz-procisceni-20190718.pdf](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan_dodjele_900-1800MHz-procisceni-20190718.pdf) [15.8.2020.]

[26] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Plan dodjele za frekvencijski pojas 1452-1492 MHz, Narodne novine br. 62/19 i 68/19, dostupno na: <https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2015/radiokomunikacije/Plan%20dodjele%20za%201452%20-%201492%20MHz-20151022.pdf> [15.8.2020.]

[27] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Plan dodjele za frekvencijski pojas 1920-1980/2110-2170 MHz, Narodne novine br. 62/19 i 68/19, dostupno na: [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan\\_dodjele\\_2GHz-procisceni-20190718.pdf](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan_dodjele_2GHz-procisceni-20190718.pdf) [15.8.2020.]

[28] Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, Plan dodjele za frekvencijski pojas 2500 -2690 MHz, Narodne novine br. 62/19 i 68/19, dostupno na: [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan\\_dodjele\\_2\\_6GHz-procisceni-20190718.pdf](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2019/propisi/Plan_dodjele_2_6GHz-procisceni-20190718.pdf) [15.8.2020.]

## SAŽETAK

U ovom radu opisane su najvažnije značajke mobilnih komunikacijskih sustava s naglaskom na radijske pristupne mreže. Opisana su načela zaštite od elektromagnetskih zračenja te je dan pregled graničnih vrijednosti temeljnih i referentnih veličina prema Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskog zračenja Republike Hrvatske. U praktičnom dijelu rada provedena su mjerenja jakosti električnog polja u 6 različitih prostorija na različitim visinama i s različitim uvjetima širenja elektromagnetskog vala. Izmjerene vrijednosti uspoređene su za različite prostorije te su uspoređeni s graničnim dozvoljenim vrijednostima za područja povećane osjetljivosti.

**Ključne riječi:** mobilne komunikacije, radijska pristupna mreža, elektromagnetsko zračenje, jakost električnog polja, granične vrijednosti

### **Analysis of base stations and mobile devices radiation levels**

## ABSTRACT

This paper describes the most important features of mobile communication systems with an emphasis on radio access networks. The principles of protection against electromagnetic radiation are described and an overview of the limit values of basic and reference values according to the Ordinance on protection against electromagnetic radiation of the Republic of Croatia is given. In the practical part of the paper, the measuring of electric field strength was carried out in 6 different rooms at different heights and with different conditions of electromagnetic wave propagation. The measured values were compared for different rooms and were compared with the limit values for areas of increased sensitivity.

**Keywords:** mobile communications, radio access network, electromagnetic radiation, electric field strength, limit values

## **ŽIVOTOPIS**

Megan-Maria Fabing rođena je 8. siječnja 1999. u Našicama, Republika Hrvatska. Pohađala je Osnovnu školu Augusta Harambašića u Donjem Miholjcu te nakon završetka osnovne škole upisuje Opću gimnaziju u Donjem Miholjcu. Godine 2017. godine upisuje Preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te je trenutno na trećoj godini studija.