Određivanje kritičnih točaka u okolini baznih postaja s aspekta zaštite od neionizirajućih zračenja

Zubak, Antonela

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:851519

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-14**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni studij

ODREĐIVANJE KRITIČNIH TOČAKA U OKOLINI BAZNIH POSTAJA S ASPEKTA ZAŠTITE OD NEIONIZIRAJUĆIH ZRAČENJA

Diplomski rad

Antonela Zubak

Osijek, 2017.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 22.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Antonela Zubak
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Komunikacije i informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-866, 03.10.2014.
OIB studenta:	33743975202
Mentor:	Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof.dr.sc. Slavko Rupčić
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Vanja Mandrić-Radivojević
Naslov diplomskog rada:	Određivanje kritičnih točaka u okolini baznih postaja s aspekta zaštite od neionizirajućih zračenja
Znanstvena grana rada:	**Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	U radu je potrebno dati teorijske osnove za izračun jakosti električnog polja u okolini baznih postaja mobilnih sustava te pregled normi i pravilnika koji se primjenjuju u zaštiti ljudi od neionizirajućih zračenja. Na temelju teorijskih izraza za izračun jakosti električnog polja potrebno je izraditi program za određivanje kritičnih zona u prostoru oko baznih postaja uzimajući u obzir sve tri prostorne dimenzije i dijagrame zračenja antena u E i H ravnini. Za odabrani primjer napraviti procjenu kritičnih točaka u okolini bazne postaje.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 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:	22.09.2017.

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, 05.07.2017.

Ime i prezime studenta:	Antonela Zubak
Studij:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Komunikacije i informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-866, 03.10.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	22%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Određivanje kritičnih točaka u okolini baznih postaja s aspekta zaštite od neionizirajućih zračenja**

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

1. UVOD ... 1
1.1. Zadatak diplomskog rada ... 2
2. BIOLOŠCI UČINCI NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA ... 4
2.1. Zaštita ljudi od neionizirajućih zračenja ... 6
2.2. Zakonska regulativa u Hrvatskoj ... 8
3. PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA U BLIZINI BAZNIH POSTAJA ... 12
3.1. Antene ... 14
3.2. Blisko i daleko polje antene ... 18
3.2.1. Područje dalekog polja ... 18
3.2.2. Područje bliskog radijacijskog polja ... 20
3.2.3. Područje bliskog reaktivnog polja ... 21
3.3. Određivanje kritičnih točaka u okolini baznih postaja ... 21
4. PROGRAM ZA PRORAČUN JAKOSTI POLJA U OKOLINI BAZNE POSTAJE ... 23
4.1. Upute za korištenje programa i primjer ... 24
4.1.1. Primjer 1: proračun jakosti električnog polja poluvalnog dipola ... 27
4.1.2. Primjer 2: proračun jakosti električnog polja antene Kathrein 742215 ... 34
4.2. Matematički proračun primjera ... 39
4.2.1. Prikaz matematičkog rješenja za primjer 1: ... 39
4.2.2. Prikaz matematičkog rješenja za primjer 2: ... 41
4.3. Procjena izloženosti zračenja u okolini bazne postaje ... 43
5. ZAKLJUČAK ... 45
LITERATURA ... 47
SAŽETAK ... 49
ABSTRACT ... 49
ŽIVOTOPIS ... 50
PRILOG ... 51
Prilog 1. ... 52
Prilog 2. ... 69

1. UVOD

Današnji brzi način života i potreba za trenutnim dobivanjem informacija, doveli su do ekspanzije broja izvora zračenja. Najveći utjecaj na značajan porast, imao je razvoj pokretnih komunikacijskih sustava te sve veći broj instaliranih baznih postaja. Kako je broj korisnika najveći u urbanom području, tako se i najveći broj baznih postaja nalazi u naseljima, u neposrednoj blizini mjesta gdje borave ljudi. Stoga se pri projektiranju baznih postaja posebna pažnja treba posvetiti položaju te izboru antena i smjerova njihovog maksimalnog zračenja, tako da uz osiguranje dobre pokrivenosti okolnog područja signalom, jakost polja u stambenim i poslovnim prostorima ne prelazi zakonom propisane granice.

Zračenjem se naziva nevidljivi oblik energije kojeg prostorom usmjereno prenose valovi i čestice. Elektromagnetsko zračenje dijeli se na ionizirajuće i neionizirajuće zračenje.

Ionizirajućim zračenjima nazvana su ona zračenja koja mogu promijeniti strukturu atoma ili molekula. Ista, štetno utječu na ljudski organizam, a ovisno o dozi zračenja učinci mogu biti trenutni ili dugoročni. Kod velikih doza zračenja dolazi do radijacijskog trovanja, dok niže doze zračenja uzrokuju karcinome. Svaka osoba godišnje je ozračena s 3,5 mSv, što nije zabrinjavajući podatak ako se uzme u obzir da je za dobivanje karcinoma potrebno godišnje biti ozračen sa 50 mSv [1]. Sivert je dozni ekvivalent (Sv = J/kg), a prije njega mjera za dozni ekvivalent bila je rem (engl. *Rentgen Equivalent for Men*). 1 Sv = 100 rem, što označava da je sivert sto puta veća jedinica od rem-a [2].

Neionizirajuće zračenje nema dovoljno snage da izbaci elektron iz atoma ili molekule, nego samo da ga prebaci u više energetsko stanje. To su elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3.000.000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione [3]. Obzirom da se u radu govori o zračenju baznih postaja tu se govori o radiovalnom i mikrovalnom zračenju. To su elektromagnetska zračenja frekvencijskog opsega od 3 kHz do 300 GHz, a njihova valna područja prikazana su u tablici 1.1.. Kako je pitanje biološkog utjecaja elektromagnetskog zračenja sve aktualnije, tako će se kroz ovaj rad dati pregled teorijskih osnova za izračun jakosti električnog polja u okolini baznih postaja mobilnih sustava te pregled normi i pravilnika koji se primjenjuju u zaštiti ljudi od neionizirajućih zračenja.

Tab. 1.1. *Valna područja u rasponu frekvencija od 3 Hz – 300 GHz [4].*

engleska kratica (engl. naziv) hrvatski naziv	**valna duljina**
ELF *(Extremely Low Frequency)* Iznimno niska frekvencija	100 000 km – 10 000 km
SLF *(Super Low Frequency)* Super niska frekvencija	10 000 km – 1000 km
ULF *(Ultra Low Frequency)* Ultra niska frekvencija	1000 km – 100 km
VLF *(Very Low Frequency)* Vrlo niska frekvencija	100 km – 10 km
LF *(Low Frequency)* Niska frekvencija	10 km – 1000 m
MF *(Medium Frequency)* Srednja frekvencija	1000 m – 100 m
HF *(High Frequency)* Visoka frekvencija	100 m – 10 m
VHF *(Very High Frequency)* Vrlo visoka frekvencija	10 m – 1 m
UHF *(Ultra High Frequency)* Ultra visoka frekvencija	1 m – 10 cm
SHF *(Super High Frequency)* Super visoka frekvencija	10 cm – 1 cm
EHF *(Extremely High Frequency)* Iznimno visoka frekvencija	1 cm – 0.1 cm

1.1. Zadatak diplomskog rada

U radu je potrebno dati teorijske osnove za izračun jakosti električnog polja u okolini baznih postaja mobilnih sustava te pregled normi i pravilnika koji se primjenjuju u zaštiti ljudi od neionizirajućih zračenja. Na temelju teorijskih izraza za izračun jakosti električnog polja potrebno je izraditi program za određivanje kritičnih zona u prostoru oko baznih postaja uzimajući u obzir sve tri prostorne dimenzije i dijagrame zračenja antena u E i H ravnini. Za

odabrani primjer napraviti procjenu kritičnih točaka u okolini bazne postaje.

2. BIOLOŠCI UČINCI NEIONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Biološkim učincima neionizirajućeg zračenja smatraju se sve fiziološke promjene na čovjeku koje se mogu detektirati. Sprega elektromagnetskog polja i živog organizma ovisi o frekvenciji polja (osnovni biološki učinci zbog međudjelovanja elektromagnetskog polja i biološkog sustava s obzirom na frekvencijsko područje i odgovarajuće dozimetrijske veličine prikazani su u tablici 2.1.). Tu se javlja skin efekt (engl. *skin effect*). Skin efekt je pojam koji opisuje stanje kada porastom frekvencije zračenja, opada prodiranje u tkivo. Na višim frekvencijama promatra se utjecaj električnog, dok se kod nižih frekvencija promatra utjecaj magnetskog polja. Postoje tri elementarna mehanizma sprege pomoću kojih vremenski promjenljiva elektromagnetska polja djeluju na organsku materiju [5]:

- sprega s električnim poljima niskih frekvencija (sprega rezultira induciranjem električne struje, stvaranjem električnih dipola i reorijentacijom već postojećih električnih dipola u tkivu.)
- sprega s magnetskim poljima niskih frekvencija (magnetska polja u tijelu generiraju gustoće struja koje unutar ljudskog tijela teku u formi zatvorenih petlji.)
- apsorpcija energije elektromagnetskog zračenja na visokim frekvencijama (izloženost zračenju na visokim frekvencijama iznad 100 kHz može dovesti do porasta temperature u tkivu.)

Tab. 2.1. *Međudjelovanje elektromagnetskih polja i ljudskog tijela [5].*

Frekvencijsko područje	**Biomehanizam**	**Dozimetrijske veličine**
Polja niskih frekvencija (3-100 kHz)	Neuromišićne stimulacije	Gustoća struje u pobuđenom tkivu **J** [A/m2]
Radiovalovi (100 kHz-3 GHz)	Zagrijavanje tkiva	Specifična razina apsorpcije **SAR** [W/kg]
Mikrovalno zračenje (3-300 GHz)	Površinsko zagrijavanje	Gustoća snage **S** [W/m2]

Ljudsko tijelo svojim regulacijskim mehanizmima može kompenzirati određenu količinu zračenja, ukoliko se te granice prekorače može doći do eventualnih štetnih posljedica. Činjenica da nije svaki biološki učinak elektromagnetskog zračenja štetan se

najjednostavnije može prikazati pomoću prirodnog elektromagnetskog zračenja kao što je sunčeva svjetlost. Ona može imati pozitivne učinke kao što su osjećaj topline direktne sunčeve svjetlosti u hladnim zimskim danima, ili proizvodnja D vitamina. Međutim, uslijed prekomjernog izlaganja direktnoj sunčevoj svjetlosti može doći do negativnih učinaka kao što su opekline ili karcinom kože. Slijedom navedenoga, mogući scenariji bioloških učinaka neionizirajućeg zračenja su [5]:

- Ozračene stanice su neoštećene te nema negativnog učinka
- Ozračene stanice su oštećene, svojim regulacijskim mehanizmima poprave štetu i rade bez negativnog učinka
- Ozračene stanice su oštećene, poprave štetu i rade abnormalno – postoji mogućnost obolijevanja od tumora ili karcinoma
- Ozračene stanice su jako oštećene i odumiru

Umjetno stvorena elektromagnetska polja u živim bićima uzrokuju induciranje struja i napona viših iznosa nego što su njihove prirodne razine u tijelu. Unatoč činjenici da čovjek može kompenzirati velik broj efekata uzrokovanih elektromagnetnim poljima, još nije u potpunosti istraženo kakve efekte mogu imati na zdravlje. U istraživanju djelovanja neionizirajućih zračenja koriste se različite metode i pristupi kao što su epidemiološki, *in vitro* te *in vivo.*

- *In vivo* metoda uključuje cijeli živući organizam, pri tome se istraživanja mogu raditi na životinjama ili ljudima koji su se dobrovoljno javili za klinička ispitivanja.
- *In vitro* metoda se provodi u kontroliranim uvjetima (u petrijevim zdjelicama) na organima, tkivu ili stanicama.
- *Epidemiološke studije* traju dugo i bave se ljudima koji su profesionalno izloženi zračenju.

Od navedenih najbolje rezultate za praćenje učinaka neionizirajućih zračenja daju epidemiološka istraživanja. Međutim, teško je naći kontrolnu skupinu koja će u svim aspektima (spol, dob, životne navike) odgovarati skupini izloženoj eksperimentu.

Dosadašnjim eksperimentima je utvrđen negativan termički učinak elektromagnetskih polja na ljudski organizam. Negativni termički učinci javljaju se pri porastu temperature tijela od 1 °C. Porast temperature za više od 6 °C uzrokuje smrt, a manja povišenja mogu

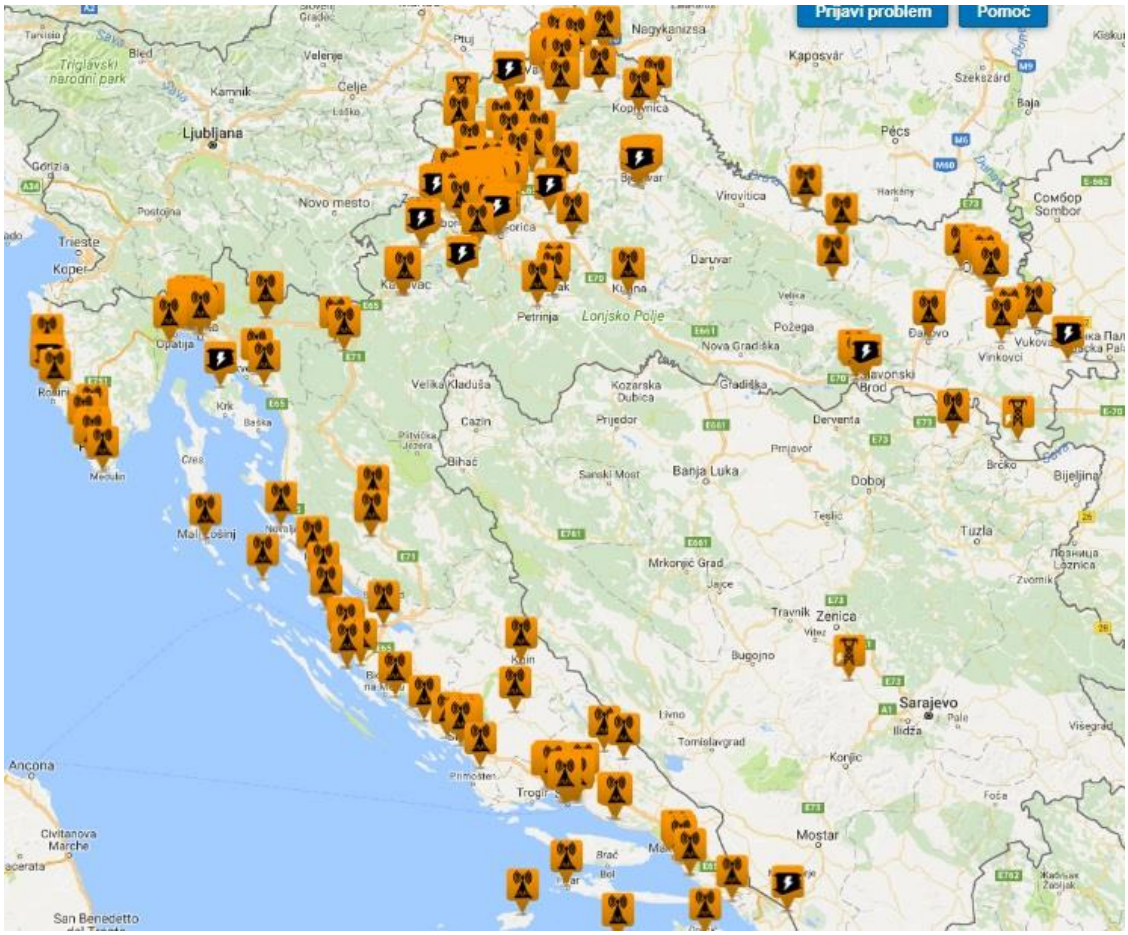
dovesti do srčanog udara, neplodnosti kod muškaraca, katarakte itd. Organi najpodložniji termičkim efektima su oči i muški testisi zbog velike količine vode koju sadrže. Kao primjer može se uzeti utjecaj elektromagnetskog zračenja na broj spermija kod muškaraca. Eksperiment je rađen *in vivo*, 2008. godine u Mađarskoj na štakorima [6]. Kod dužeg izlaganja testisa zračenju primjećen je značajan pad GPx (engl. *glutathione peroxidase*) i SOD-a (engl. *superoxide dismutase*) kod izloženih štakora. Glutation peroksidaza i superoksid dismutaza su enzimi koji štite membranu spermija od oksidacije. Opadanjem njihova broja, povećava se mogućnost da membrana oksidira što negativno utječe na oplodnu sposobnost spermija.

Neka od ostalih istraživanja su istraživanje provedeno u Brazilu, u trajanju od deset godina. Promatrana je korelacija broja stanovnika umrlih od tumora mozga i stanovanja u blizini bazne stanice. Studija je pokazala da su šanse za preživljavanjem oboljelih od tumora manje ukoliko su isti živjeli u blizini bazne stanice. Tako je gotovo polovina umrlih živjela na udaljenosti manjoj od 100 m od baznih stanica. Istraživanja u Izraelu i Njemačkoj također su pokazala da je broj oboljelih od tumora tri do četiri puta veći ukoliko su isti živjeli u zoni od 400 m od baznih stanica.

Iako su u potpunosti prihvaćeni samo termički učinci na ljudskim organizam, veliki broj znanstvenika vjeruje da postoje biološki efekti na razinama polja pri kojima se ne mjeri zamjetna temperaturna promjena tkiva, posebno pri dugotrajnom izlaganju relativno niskim razinama.

2.1. Zaštita ljudi od neionizirajućih zračenja

Kako bi se zaštitilo građane od štetnih utjecaja elektromagnetskih polja, donose se zakoni koji obvezuju pravne i fizičke osobe koje stavljaju u promet, postavljaju i koriste izvore EM polja, na zadovoljenje propisanih uvjeta korištenja takvih izvora unutar zadanih granica [7]. Međutim većina građana smatra da se zakoni donose tako da pogoduju teleoperaterima, a njih izlažu jačem zračenju. Tako se na kartama Hrvatske udruge za zaštitu od elektromagnetnog zračenja (Sl. 2.1.) svakim danom može vidjeti sve više žalbi (Sl. 2.2.).



Sl. 2.1. *Prikaz interaktivne karte elektromagnetskog zračenja u Hrvatskoj [8].*

Sl. 2.2. *Primjeri poruka zabrinutih građana [8].*

2.2. Zakonska regulativa u Hrvatskoj

ICNIRP (engl. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) te IEEE (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) su međunarodna udruženja koja propisuju granične vrijednosti iznad kojih ljudi ne bi smjeli biti izloženi zračenju. IEEE norme su pretežito prihvaćene u SAD-u te još nekolicini država, dok su ICNIRP norme prihvaćene u Europi. Granične vrijednosti koje ta udruženja propisuju su:

- Temeljna ograničenja – to su veličine međudjelovanja elektromagnetskih polja i ljudskog tijela, izražene su kao SAR (engl. *Specific absorption rate;* W/kg) te kao gustoća struje J (A/m^2)
- Referentne granične razine – to su veličine koje opisuju incidentno elektromagnetsko polje, izražene su kao jakost električnog polja E (V/m), jakost magnetskog polja H (A/m^2) te gustoća snage elektromagnetskog vala S (W/m^2)

Sve granične vrijednosti dijele ljudsku populaciju u dvije skupine: opću i profesionalnu populaciju. Opću populaciju čini osjetljiva kategorija pučanstva (djeca, starije osobe, trudnice…) pri čemu je vrijeme izloženosti 24 sata dnevno. Dok se područje profesionalne osjetljivosti odnosi isključivo na radno sposobno pučanstvo, u vremenu izloženosti od osam sati dnevno. Preporuka koju daje ICNIRP je da je dozvoljena gustoća toka snage za područje povećane osjetljivosti (opća populacija) 10 W/m^2 (iz razloga što se termalni učinak za gustoću toka snage do 10 W/m^2 smatra zanemarivim), a za područje profesionalne izloženosti gustoća toka snage iznosi 50 W/m^2 [9]. U području između 10 MHz i 400 MHz su dopuštene jakosti polja najniže, jer je čovjek najosjetljiviji na tom području.

U Hrvatskoj, na temelju članka 8. stavka 2. i članka 17. Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (»Narodne novine«, broj 91/10) ministar zdravlja uz prethodno pribavljeno mišljenje ministra pomorstva, prometa i infrastrukture, donosi Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja („Narodne novine“, broj 146/14) [9]. U tablicama 2.2. i 2.3. prikazana su temeljna ograničenja specifične apsorbirane snage uprosječene po cijelom tijelu, lokalizirane specifične apsorbirane snage u glavi i trupu te lokalizirane specifične apsorbirane snage u udovima za opću i profesionalnu populaciju.

Tab. 2.2. *Temeljna ograničenja za opću populaciju [9].*

Frekvencijski opseg	SAR (W/kg)			Gustoća snage S (W/m^2)
	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

Tab. 2.3. *Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju [9].*

Frekvencijski opseg	SAR (W/kg)			Gustoća snage S (W/m^2)
	Cijelo tijelo	Glava i trup	Udovi	
100 kHz – 10 MHz	0,4	10	20	
10 MHz – 10 GHz	0,4	10	20	
10 – 300 GHz				50

Tab. 2.4. *Granične razine referentnih veličina za područja profesionalne izloženosti [9].*

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^2)
1 – 8 Hz	$2 \cdot 10^4$	$1{,}6 \cdot \frac{10^5}{f^2}$	$2 \cdot \frac{10^5}{f^2}$	-
8 – 25 Hz	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot \frac{10^4}{f}$	$2{,}5 \cdot \frac{10^4}{f}$	-
25 – 300 Hz	$5 \cdot \frac{10^5}{f}$	800	1000	-
0,3 – 3 kHz	$5 \cdot \frac{10^2}{f}$	$2{,}4 \cdot \frac{10^2}{f}$	$3 \cdot \frac{10^2}{f}$	-
3 – 100 kHz	170	80	100	-
100 – 150 kHz	170	$\frac{800}{f}$	$\frac{10^3}{f}$	-
0,15 – 1 MHz	170	$\frac{1{,}6}{f}$	$\frac{2}{f}$	-
1 – 10 MHz	$\frac{170}{\sqrt{f}}$	$\frac{1{,}6}{f}$	$\frac{2}{f}$	-
10 – 400 MHz	54	0,14	0,18	7,77
400 – 2000 MHz	$2{,}7 \cdot \sqrt{f}$	$7{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$10^{-2} \cdot \sqrt{f}$	$1{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot f$
2 – 10 GHz	121	0,32	0,4	38,8
10 – 300 GHz	121	0,32	0,4	38,8

Tab. 2.5. *Granične razine referentnih veličina za javna područja [9].*

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^2)
1 – 8 Hz	10^4	$3{,}2 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	$4 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	-
8 – 25 Hz	10^4	$4 \cdot \frac{10^3}{f}$	$5 \cdot \frac{10^3}{f}$	-
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	$\frac{0{,}73}{f}$	$\frac{0{,}92}{f}$	-
1 – 10 MHz	$\frac{83}{\sqrt{f}}$	$\frac{0{,}73}{f}$	$\frac{0{,}92}{f}$	-
10 – 400 MHz	26	$6{,}9 \cdot 10^{-2}$	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	1,8
400 – 2000 MHz	$1{,}3 \cdot \sqrt{f}$	$7{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$4{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{f}$	$4{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot f$
2 – 10 GHz	58	0,15	0,19	8,9
10 – 300 GHz	58	0,15	0,19	8,9

U novom pravilniku uvodi se pojam javnih područja, koje se definira kao sva mjesta u urbanim i ruralnim sredinama na koja nije ograničen slobodan pristup općoj populaciji, a nisu u području povećane osjetljivosti odnosno profesionalne izloženosti [9]. To znači da su javna područja mjesta na kojima se opća populacija ne zadržava osam sati dnevno cijelu godinu, ali se razlikuje i od područja povećane osjetljivosti gdje je boravak stalan i kontinuiran.

Nadalje, može se primijetiti da su granične razine za javna područja iste ili nešto niže od preporučenih razina, a granične vrijednosti za povećanu osjetljivost su 2,5 puta strože od preporuka vijeća Europske unije.

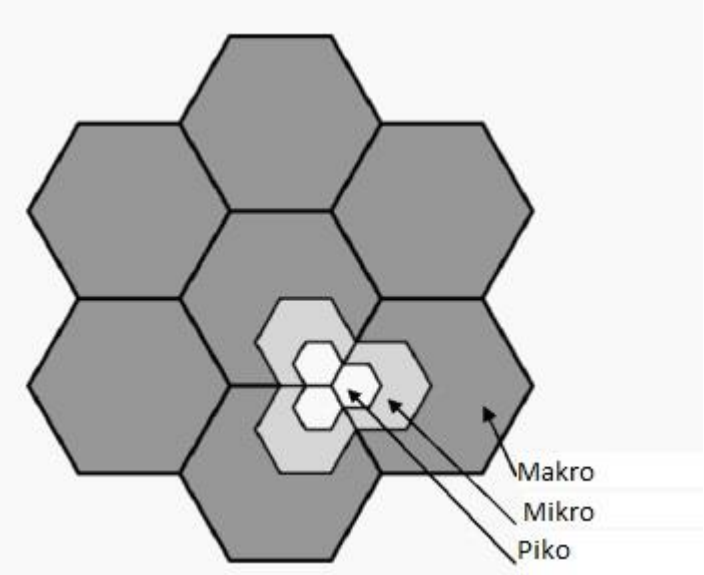
Tab. 2.6. *Granične razine referentnih veličina za područja povećane osjetljivosti [9].*

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^2)
1 – 8 Hz	$4 \cdot 10^3$	$1{,}28 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	$1{,}6 \cdot \frac{10^4}{f^2}$	-
8 – 25 Hz	$4 \cdot 10^3$	$1{,}6 \cdot \frac{10^3}{f}$	$2 \cdot \frac{10^3}{f}$	-
25 – 800 Hz	$\frac{10^5}{f}$	$1{,}6 \cdot \frac{10^3}{f}$	$2 \cdot \frac{10^3}{f}$	-
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

3. PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA U BLIZINI BAZNIH POSTAJA

Bazna postaja je istovjetna radiostanici, a opslužuje područje koje se naziva ćelija (engl. cell). Sam naziv bazna postaja odnosi se na antensku strukturu i pripadajuću elektroničku opremu. Ona je spona između podsustava mobilne centrale i mobilne stanice. Signal se kabelom prenosi do antene, odakle se emitira u obliku elektromagnetske energije u slobodni prostor koji okružuje ćelijsku baznu postaju [10].

Prilikom planiranja mreže potrebno je obratiti pažnju na više faktora kako bi se odabrala optimalna ćelijska struktura (sl. 3.1.). Ćelijske strukture rade se u obliku pravilnog šesterokuta s obzirom na relativno jednaku udaljenost rubova od središta te potpunu pokrivenost područja signalom.



Sl. 3.1. *Ćelijska struktura [10]*.

Ćelije se dijele na makro, mikro i piko ćelije, a koja će biti postavljena ovisi o željenoj pokrivenosti, o blizini prometnih čvorišta i trgovačkih centara. Obzirom da ruralna područja te autoceste nemaju visoki intenzitet prometa postavljaju se makroćelije i to na svakih 2 - 5 km. U urbanim područjima mikroćelije se postavljaju svakih 200 - 500 m. Pikoćelije se postavljaju na razdaljinu manju od 200 metara i postavljaju se uglavnom u velike trgovačke centre. Bazne stanice za interijere mogu prenositi istovremeno tridesetak poziva, dok vanjski veliki odašiljači mogu prenijeti istovremeno 100 – 150 poziva. Slijedom navedenoga može se zaključiti da nije nužno loše imati više baznih stanica, jer što je postavljeno više baznih

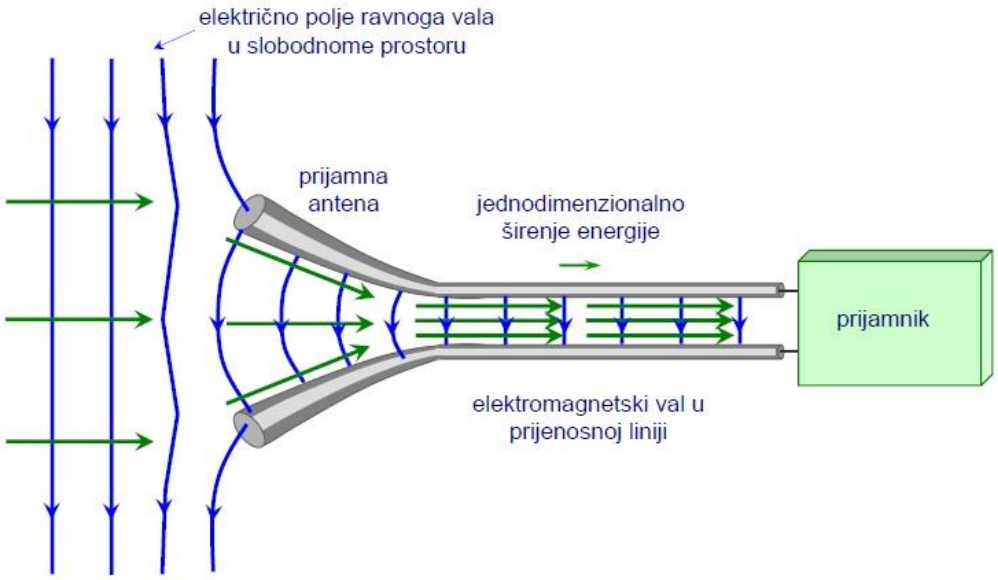
stanica, to one rade manjom snagom, tj. slabije zrače. Kako je u urbanim područjima pokrivenost dobra, mobilni telefoni manje zrače. Ukoliko je tokom razgovara signal slab, mobilni telefon će raditi većom snagom kako bi uspostavio vezu s udaljenom baznom stanicom. Koliki je potencijalni utjecaj na zdravlje ljudi radi izloženosti zračenju baznih postaja određuje se proračunima jakosti polja u zoni dalekog polja i gustoće snage ili mjerenjem istih te usporedbom rezultata s referentnim razinama propisanim zakonom. Po jednoj ćeliji se uobičajeno koriste tri usmjerene antene velikog pojačanja. Iste se postavljaju na krovovima nebodera (Sl. 3.2.) ili samostojećim stupovima (Sl. 3.3.) kako bi se izbjegle fizičke prepreke te osigurao što veći domet. Antene na samostojećim stupovima se obično postavljaju na visinu od 15 – 50 m jer se za makro ćelije moraju koristiti snažnije antene.

Sl. 3.2. *Zgrada sa dvije montažne bazne postaje [11].*

Sl. 3.3. *Bazna postaja montirana na samostojećem stupu [11].*

3.1. Antene

Antena je radijska naprava za primanje i odašiljanje radijskih valova. Njene osnovne funkcije su prilagodba jednodimenzionalnog vala iz prijenosne linije u trodimenzionalni val u slobodnom prostoru i obratno (Sl. 3.4.) te usmjeravanje energije u željenom smjeru.

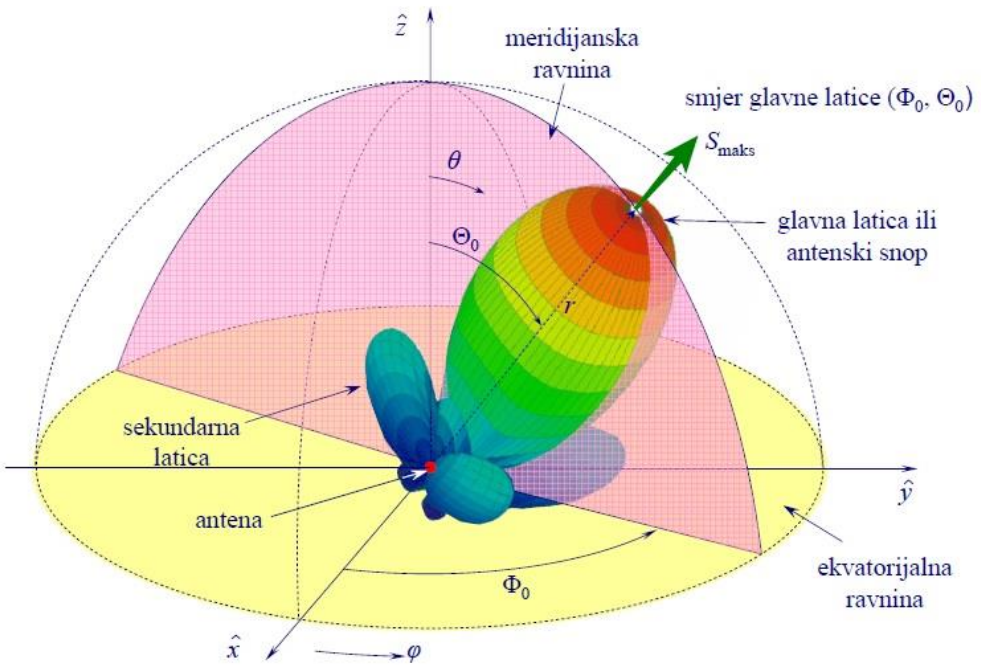


Sl. 3.4. *Prijamna antena pretvara trodimenzionalni val iz slobodnog prostora u jednodimenzionalni val u prijenosnoj liniji [12].*

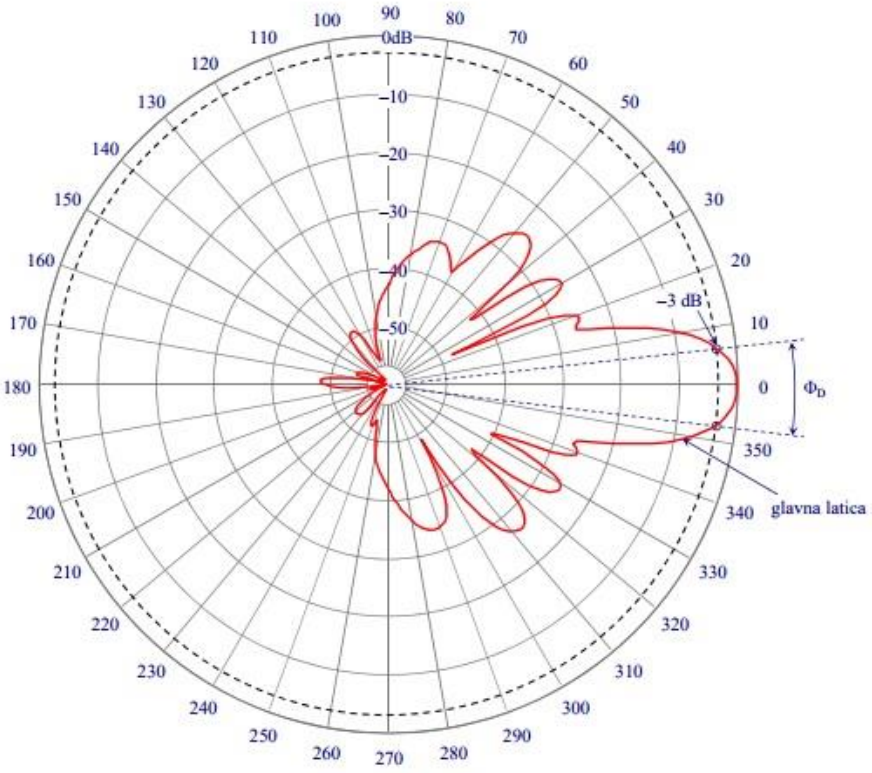
Parametri antena:

- Dijagram zračenja
- Usmjerenost i dobitak
- Polarizacija
- Impedancija
- Efektivna površina i duljina
- Temperatura šuma

Dijagram zračenja antene opisuje raspodjelu gustoće snage na površini kugle dovoljno velikog polumjera. U većini komunikacijskih primjena traži se da antena bude usmjerena. Tako ona ima jednu glavnu laticu u smjeru maksimalnog zračenja te veći broj sekundarnih latica koje su značajno manje snage od one u smjeru maksimalnog zračenja.



Sl. 3.5. *Dijagram zračenja [12].*



Sl. 3.6. *Dijagram zračenja u polarnom prikazu [12].*

Pri proučavanju antena koristi se fiktivna antena koja se naziva izotropni radijator. Ona ima jediničnu usmjerenost, odnosno zrači u svim smjerovima jednako (D=1=0 dB). Usmjerenost D je broj koji govori koliko puta zračena snaga izotropnog radijatora mora biti veća od zračene snage promatrane antene da bi na jednakoj udaljenosti gustoća snage koju usmjerena antena zrači u smjeru maksimalnog zračenja bila jednaka gustoći snage koju zrači izotropni radijator. Usmjerenost se može prikazati kao [12]:

$$D = \frac{S_{r,max}}{S_{r,sred}} = \frac{4\pi r^2 S_{r,max}}{P_z} = \frac{4\pi S_{r,max}}{\int_{\theta=0}^{\pi}\int_{\varphi=0}^{2\pi} S_r(\theta,\varphi) sin\theta d\theta d\varphi} \tag{3-1}$$

Pri čemu je D usmjerenost, S_r gustoća snage, P_z zračena snaga, a r udaljenost od antene.

Dobitak G je veličina koja nije povezana zračenom, nego privedenom snagom. On govori koliko puta zračena snaga mora biti veća od izotropnog radijatora u odnosu na privedenu snagu promatrane antene, kako bi intenzitet zračenja izotropnoga radijatora bio jednak intenzitetu zračenja stvarne antene u smjeru maksimalnog zračenja. Veza između dobitka i usmjerenosti iskazuje se preko faktora učinkovitosti κ_z [12].

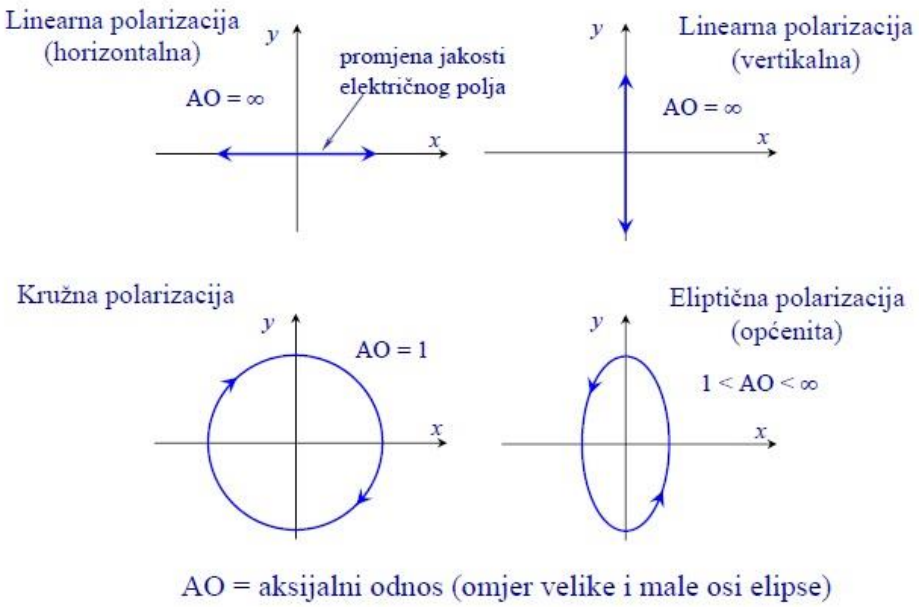
$$G = \kappa_z D \tag{3-2}$$

Dobitak se obično prikazuje u decibelima kao [12]:

$$G(\text{dB})=10\log G \tag{3-3}$$

Polarizacija vala određena je krivuljom koju opisuje vrh vektora električnog polja. Razlikuju se tri vrste polarizacije:

- Linearna (vertikalna ili horizontalna)
- Kružna (lijeva ili desna)
- Eliptična



Sl. 3.7. *Vrste polarizacije [12].*

Impedancija antene Z definira se kao kvocijent napona i struje na pasivnom dvopolu. Pasivnim dvopolom može se prikazati svaka odašiljačka antena priključena preko linije na generator signala. Ukoliko je antena u slobodnom prostoru na velikoj udaljenosti od objekata, tada se impedancija na priključnicama antene naziva vlastita impedancija antene. Impedancija se može prikazati kao [12]:

$$Z_a = R_a + jX_a = R_z + R_{dis} + jX_a \tag{3-4}$$

Gdje je Z_a impedancija antene, R_z otpor zračenja, R_{dis} gubici antene, jX_a reaktivna komponenta.

Poželjno je da reaktivna komponenta ne postoji, taj slučaj vodi u rezonanciju antene. Efektivna površina prijemne antene A_{ef} se definira kao omjer snage predane prilagođenom teretu W_p priključenom na antenu i gustoće snage upadnog elektromagnetskog vala S_r [12]:

$$A_{ef} = \frac{P_p}{S_r} \tag{3-5}$$

Veza između usmjerenosti i efektivne površine je [12]:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef} \tag{3-6}$$

Efektivna duljina l_{ef} ili h_{ef} prijemne antene definira se kao kvocijent napona U_p na stezaljkama otvorene antene i jakosti električnog polja E na mjestu prijema [12]:

$$l_{ef} = \frac{U_p}{E} \tag{3-7}$$

Temperatura šuma T_a je mjera za snagu šuma koju antena predaje na ulazu u prijemnik. Glavni dio snage šuma ovisi o vanjskim izvorima istog i njihovom položaju u odnosu na dijagram zračenja [12].

$$T_a = \frac{P_š}{kB} \tag{3-8}$$

Gdje je $P_š$ raspoloživa snaga šuma na ulazu u prijemnik, k Boltzmanova konstanta, a B-širina frekvencijskog pojasa.

3.2. Blisko i daleko polje antene

U skladu s IEEE standardnom definicijom termina za antene prema [9, 13] definirana su tri različita područja zračenja antena. To su:

- područje dalekog polja (engl. *far-field region),*
- područje bliskog radijacijskog polja (engl. *radiating near-field region*)
- područje bliskog reaktivnog polja (engl. *reactive near-field region*)

Za svako od navedena tri područja zračenja, razlikuje se proračun elektromagnetskog polja i gustoće snage. Podjela na ova područja temeljena je na udaljenosti od antene, dimenziji antene te valnoj duljini u slobodnom prostoru λ. Teorija koja definira ova područja dana je u Aneksu A preporuke HRN EN 50383:2002.

3.2.1. Područje dalekog polja

Kod područja dalekog polja, dijagram zračenja ne ovisi o udaljenosti od antene jer se ono nalazi daleko od same antene. U tom području polja se ponašaju kao u ravnom valu. Za

početak dalekog polja uzima se Fraunhoferova zona koja je određena Fraunhoferovim rastojanjem d_f. Navedeni parametar ovisi o najvećoj linearnoj dimenziji predajne antene D i valnoj duljini λ. Izračun polja u području dalekog polja je točan onda kada je udaljenost r od antene duljine D do točke istraživanja veća od granice dalekog polja R_g [14]:

$$R_g = max\begin{pmatrix} 5\lambda \\ 5D \\ 0{,}6D^2/\lambda \end{pmatrix} \tag{3-9}$$

Pri izračunu elektromagneskog polja u području dalekog polja pretpostavlja se da je antena točkasti izvor, stoga veličina iste nije relevantna za proračun. Ukoliko se za točkasti izvor uzme Hertzov dipol prikazan na slici 3.8., emitirana snaga se može iskazati putem gustoće snage integracijom po sferi radijusa r [5]:

$$P_t = \oint_S \vec{S}d\vec{A} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} S\overrightarrow{e_\theta} * r^2 sin\theta \; d\theta d\varphi \cdot \overrightarrow{e_r} = S \cdot 4\pi r^2 \tag{3-10}$$

Iz toga slijedi da je gustoća snage točkastog izvora:

$$S = \frac{P_t}{4\pi r^2} \tag{3-11}$$

Ukoliko je antena usmjerena gustoća snage dobiva se tako da se množi sa dobitkom G.

$$S = \frac{P_t G}{4\pi r^2} \tag{3-12}$$

U daljnjem postupku za gustoću snage može se upisati izraz za gustoću snage ravnog vala.

$$S_{av} = \left|\frac{1}{2} Re\left[\vec{E} \times \vec{H}\right]\right| = \frac{1}{2} Z_0 H_\phi^2 = \frac{1}{2}\frac{E_\theta^2}{Z_0} \tag{3-13}$$

$$S = \frac{E^2}{Z_0} \tag{3-14}$$

$$\frac{E^2}{Z_0} = \frac{P_t G}{4\pi r^2} \tag{3-15}$$

Iz čega slijedi da je $E = \frac{\sqrt{30 P_t G}}{r}$ (3-16)

Ukoliko antenski sustav ima N kanala, tada se primjenom EIRP-a (engl. *effective isotropic radiated power*) dobije [5]:

$$\mathrm{E} = \frac{\sqrt{30\mathrm{NP_tG}}}{\mathrm{r}} = \frac{\sqrt{30\mathrm{N}\cdot\mathrm{EIRP}}}{\mathrm{r}} \quad (3\text{-}17)$$

Efektivna izotropno zračena snaga (EIRP) je umnožak snage privedene anteni i dobitka antene u danom smjeru, u odnosu na izotropnu antenu (apsolutni ili izotropni dobitak).

$$EIRP = P_T \cdot G_T \quad (3\text{-}18)$$

Ako se u obzir uzmu atenuacije u sustavu jednadžba (3-18) se dijeli s gubicima:

$$EIRP = \frac{P_T \cdot G_T}{L} \quad (3\text{-}19)$$

Što se u decibelskom zapisu može prikazati kao

$$EIRP\ [dBm] = P[dB] + G_t[dBi] - L[dB] \quad (3\text{-}20)$$

gdje *L* predstavlja omske gubitke sustava.

Obzirom da se zračenje bazne postaje uvijek računa za najgori mogući slučaj, u proračun treba uvrstiti činjenicu da su upadno i reflektirano polje u fazi.

$$E^{tot} = E^{inc} + E^{ref} \quad (3\text{-}21)$$

$$E^{inc} = \frac{E_0(\phi,\vartheta)}{r} e^{-jkr} \quad (3\text{-}22)$$

$$E^{ref} = \Gamma_R(\phi',\vartheta') \frac{E_0(\phi',\vartheta)}{r'} e^{-jkr'} \quad (3\text{-}23)$$

$$E_0(\phi,\vartheta) = \sqrt{30N \cdot EIRP} \quad (3\text{-}24)$$

Pri čemu su E^{inc} *i* E^{ref} upadno i reflektirano polje Γ_R odgovarajući koeficijent refleksije, a E_0 amplituda polja upadnog vala. Ako se u obzir uzme slučaj da se val reflektira od zemlje, pri čemu faktor totalne refleksije zemlje iznosi 2, dobije se podatak da u slučaju najgoreg scenarija totalno polje može imati duplo veću vrijednost od upadnog polja.

3.2.2. Područje bliskog radijacijskog polja

Blisko radijacijsko polje je za antenu duljine D definirano u opsegu [14]:

$$max\begin{pmatrix} \lambda \\ D \\ D^2/4\lambda \end{pmatrix} < r \leq max\begin{pmatrix} 5\lambda \\ 5D \\ 0{,}6D^2/4\lambda \end{pmatrix} \quad (3\text{-}25)$$

gdje je *r* udaljenost od antene do točke ispitivanja. U bliskom polju realna antena ima konačne dimenzije (nije točkasti izvor). Radijacijska bliska polja se nalaze u Fresnelovoj zoni, u njoj prevladavaju zračeća polja, a oblik dijagrama zračenja ovisi o udaljenosti.

3.2.3. Područje bliskog reaktivnog polja

Reaktivno blisko polje je za antenu duljine *D* definirano relacijom [14]:

$$r \leq max \begin{pmatrix} \lambda \\ D \\ D^2/4\lambda \end{pmatrix} \tag{3-26}$$

gdje je r udaljenost od antene do točke istraživanja. U bliskom polju realna antena ima konačne dimenzije (nije točkasti izvor). Reaktivna polja sadrže većinu pohranjene energije (jalove ili reaktivne). Energija se u ovom području prenosi indukcijom. Kod antenskih nizova indukcijska polja prevladavaju u okolini osnovnih elemenata zračenja. Ako je antena bazne postaje sastavljena od niza osnih rezonantnih dipola, tada se ukupna snaga po jedinici površine cilindra definira kao [5]:

$$P_{tot} = NP_{rad} = \oint_S \vec{S}d\vec{A} = \int_0^{2\pi}\int_{-L}^{+L} S \cdot \overrightarrow{e_\rho}\rho d\varphi dz \cdot \vec{e}_\rho = S \cdot 2\pi\rho \cdot 2L \tag{3-27}$$

Gdje je P_{rad} zračena snaga jednog dipola, *N* broj kanala, ρ je radijalna udaljenost od antene, a *2L* njena ukupna duljina. Tada je prosječna gustoća snage po jedinici površine opisana izrazom:

$$S = \frac{NP_{rad}}{2\pi\rho 2L} \tag{3-28}$$

Ako se u obzir uzme sektorsko pokrivanje signalom, prosječna gustoća snage se u prvoj aproksimaciji može izraziti kao:

$$S = \frac{NP_{rad}}{2\pi\rho 2L}\frac{180}{\bar{\phi}} \tag{3-29}$$

Pri čemu širinu glavnog snopa predstavlja $2\bar{\phi}$.

3.3. Određivanje kritičnih točaka u okolini baznih postaja

Prema zakonu nad svakom baznom postajom prije puštanja u rad te periodički, moraju se provoditi mjerenja jakosti polja. Mjerenja se obavljaju u najmanje šest točaka na mjestima na kojima se očekuju najviše razine elektromagnetskog polja. Pozicija najveće izloženosti elektromagnetskom zračenju ključni je parametar temeljem kojeg se utvrđuje je li zračeći sustav korektno podešen i odgovarajućih parametara, a da se ispoštuju granične vrijednosti zračenja navedene u Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja [15].

Značajke koje utječu na određivanje pozicije najveće izloženosti mogu se grupirati u šest osnovnih grupa [15]:

- vrsta antena antenskog sustava te vrsta antenskog sustava (vertikalni i horizontalni dijagram zračenja sustava ovisi o antenama i njihovu rasporedu u sustavu)
- privedena i zračena snaga antenskog sustava
- visina antenskog sustava i visina odabrane pozicije izloženosti
- broj i geometrija elemenata zračećeg sustava (azimutni kutovi po smjeru i broju, nagib svakog od sustava prema horizontali)
- konfiguracija terena na koji je zračeći sustav usmjeren (visoke ili niske zgrade, šumoviti teren ili teren bez biljnog pokrova i drugo)
- udaljenost zračećeg sustava od pozicije mjernog mjesta

Mjerenje se obavlja mjerenom opremom koja se sastoji od mjernog prijemnika ili analizatora spektra i mjerne antene. Postupak određivanja je sljedeći [15]:

- na karti područja koje pokriva antenski sustav ucrtavaju se pozicija izvora te smjerovi maksimalnog zračenja s označenim kutovima glavne latice u horizontalnom dijagramu zračenja $\alpha_{h.}$ Time se utvrđuje područje mogućih pozicija mjernih točaka u azimutalnom smjeru. Za svaki smjer definira se područje (stambene/poslovne zgrade, škole, vrtići te javne ustanove) u kojima se na glavnim pravcima odabiru moguće pozicije na najmanjim udaljenostima. Broj istih treba biti veći od šest.
- za svaki sektor potrebno je odrediti visinski dijagram koji daje uvid u visinu zgrada koje se mogu uzeti u obzir ukoliko se nalaze unutar kutova glavne latice
- nakon obilaska terena odabiru se točke koje zadovoljavaju uvjete (nalaze se unutar kutova glavne latice, pozicija što bliže izvoru zračenja, nalaze se na optičkoj vidljivosti izvora zračenja)
- prednost u odabiru imaju objekti u kojima ljudi borave veliki dio vremena.

4. PROGRAM ZA PRORAČUN JAKOSTI POLJA U OKOLINI BAZNE POSTAJE

Program za proračun jakosti polja u okolini baznih postaja je napravljen u programskom paketu Matlab, primjenom Antenna Toolbox. Isti, za proračun i vizualizaciju u dalekom i bliskom radijacijskom području koristi model dalekog polja, dok za blisko reaktivno polje koristi metodu momenata (MoM). MoM je jedna od prvih metoda za procjenu parametara uvedena od strane K. Pearson-a (1857.-1936.). Kod metode momenata postoje momenti populacije, definirani u uvjetima očekivanih vrijednosti, i momenti uzoraka. Cilj je izjednačiti ih. Za k-parametarski statistički model je potrebno k jednadžbi da bi se odredili parametri modela [13].

k-ti moment populacije: $E(X^k), k = 1, 2, \ldots$ (4-1)

pomoćni moment: $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i^k,\ k = 1, 2, \ldots$ (4-2)

To znači da je prvi moment populacije $E(x) = \mu$ (4-3)

Dok je pomoćni moment $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i^k = \bar{X}$ (4-4)

Konačno, izjednačavanjem se dobiva da je $\mu = \bar{x}$ (4-5)

Antenna Toolbox uvelike pojednostavljuje pisanje koda obzirom da se nekoliko linija može zamijeniti jednom:

Kod za prikaz 2D dijagrama zračenja riješenog primjera bez Toolboxa:

```
%Valna duljina
lambda = 0.162162162;
%Duljina poluvalnog dipola
L = 0.15;
%Fazna konstanta
B = 2*pi/lambda;
t = 0:0.01:2*pi;
%Jednadžba dalekog polja
E = abs((cos(B*L/2*cos(t))-cos(B*L/2))./sin(t));
figure()
polar(t,E)
E2 = abs((cos(B*L/2*cos(t))-cos(B*L/2))./sin(t)).^2;
figure()
polar(t,E2)
```

Kod za prikaz 2D dijagrama zračenja pomoću Toolboxa:

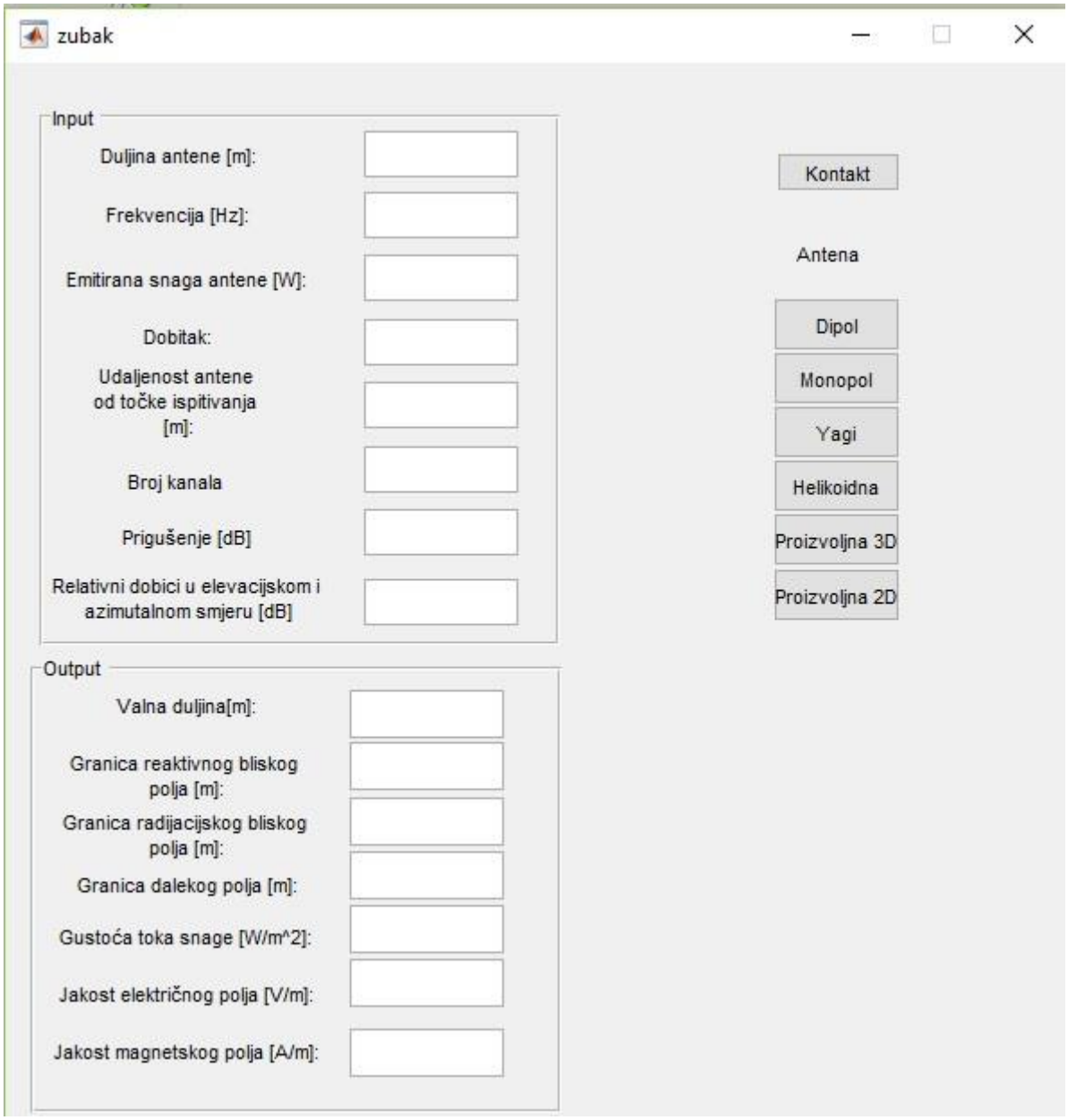
```
ant = dipole;
f0 = 925000000;
```

```
figure;
pattern(ant,f0,0,0:1:359);
```

Svi parametri antena mogu se prilagoditi u m-skriptama.

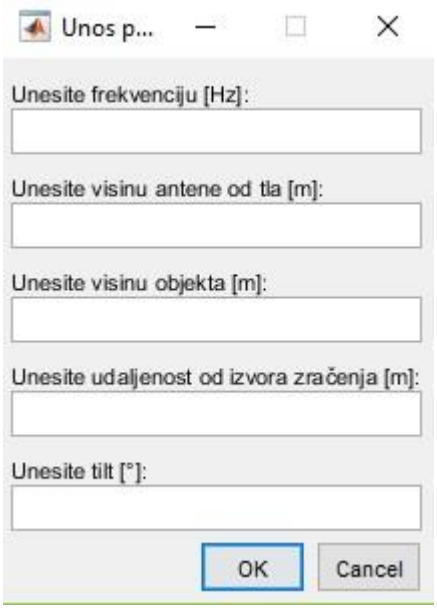
4.1. Upute za korištenje programa i primjer

Kako bi se započelo korištenje programa, potrebno je u MATLAB Command Window pozvati skriptu naredbom *zubak.m.* Potom će se otvoriti korisničko sučelje programa rađeno unutar GUI-a (engl. *graphical user interface*).



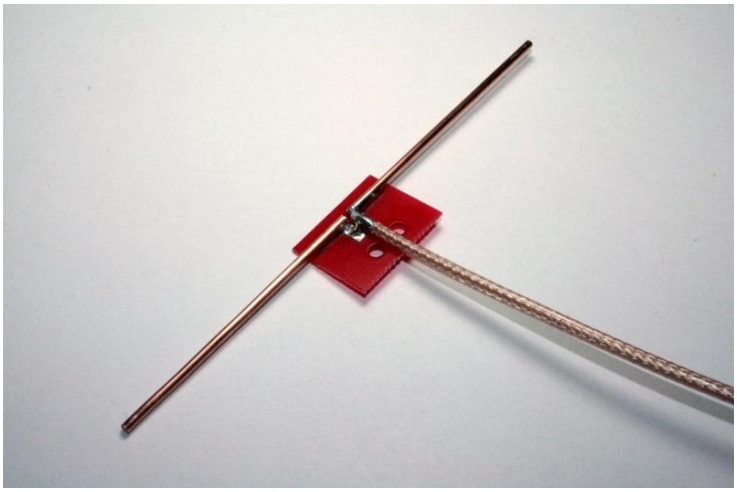
Sl. 4.1. *Korisničko sučelje*

Na korisničkom sučelju se odabire željena antena, ukoliko je nema na popisu postoji mogućnost odabira proizvoljne antene. Potom se u prozor *input* unesu traženi podaci koji se nalaze priloženi u tehničkim podacima antene. Pritiskom tipke jedne od antena otvara se skočni prozor (Sl. 4.2.) u koji se unose frekvencija, visina antene, udaljenost antene od izvora zračenja te tilt, čime se omogućuje da se mogu lakše promijeniti parametri te vidjeti kako bi rezultati izgledali za neke druge vrijednosti bez potrebe za ponovnim pokretanjem cijelog programa, a ujedno služi i da svaka m-skripta radi kao zaseban program.

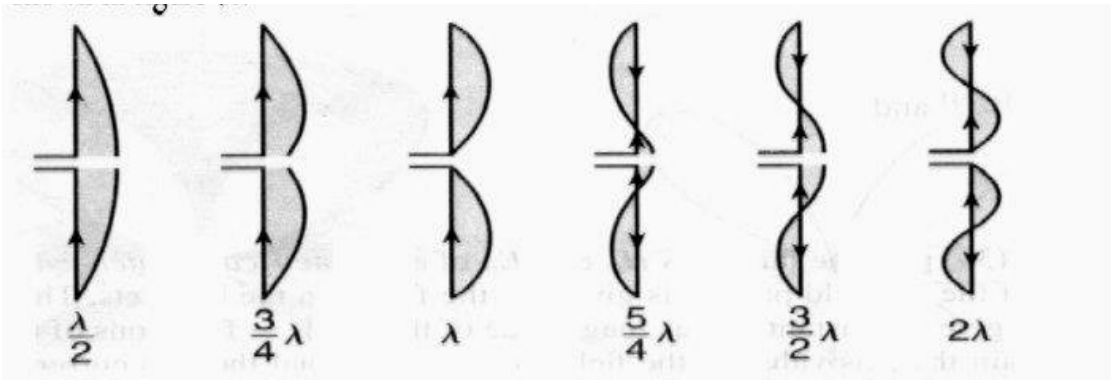


Sl. 4.2. *Skočni prozor.*

Za primjer je upotrijebljena dipol antena. Dipol antena pripada skupini žičanih antena. Napravljena je od dva tanka vodljiva štapa napajana u središtu (Sl. 4.3.). Raspodjela struje po duljini dipola je sinusna (Sl. 4.4.) [17].



Sl. 4.3. *Prikaz dipol antene [16].*



Sl. 4.4. *Raspodjela struje [17].*

Osim što raspodjela struje utječe na dijagram zračenja, utječe i na ostale parametre antena. Raspodjela struje prikazana je jednadžbama (4-6) – (4-8) [17].

$$I(z) = I_T sin\left[\beta(\frac{L}{2} - z)\right] \; za \; z > 0 \tag{4-6}$$

$$I(z) = I_T \sin\left[\beta\left(z + \frac{L}{2}\right)\right] za \; z < 0 \tag{4-7}$$

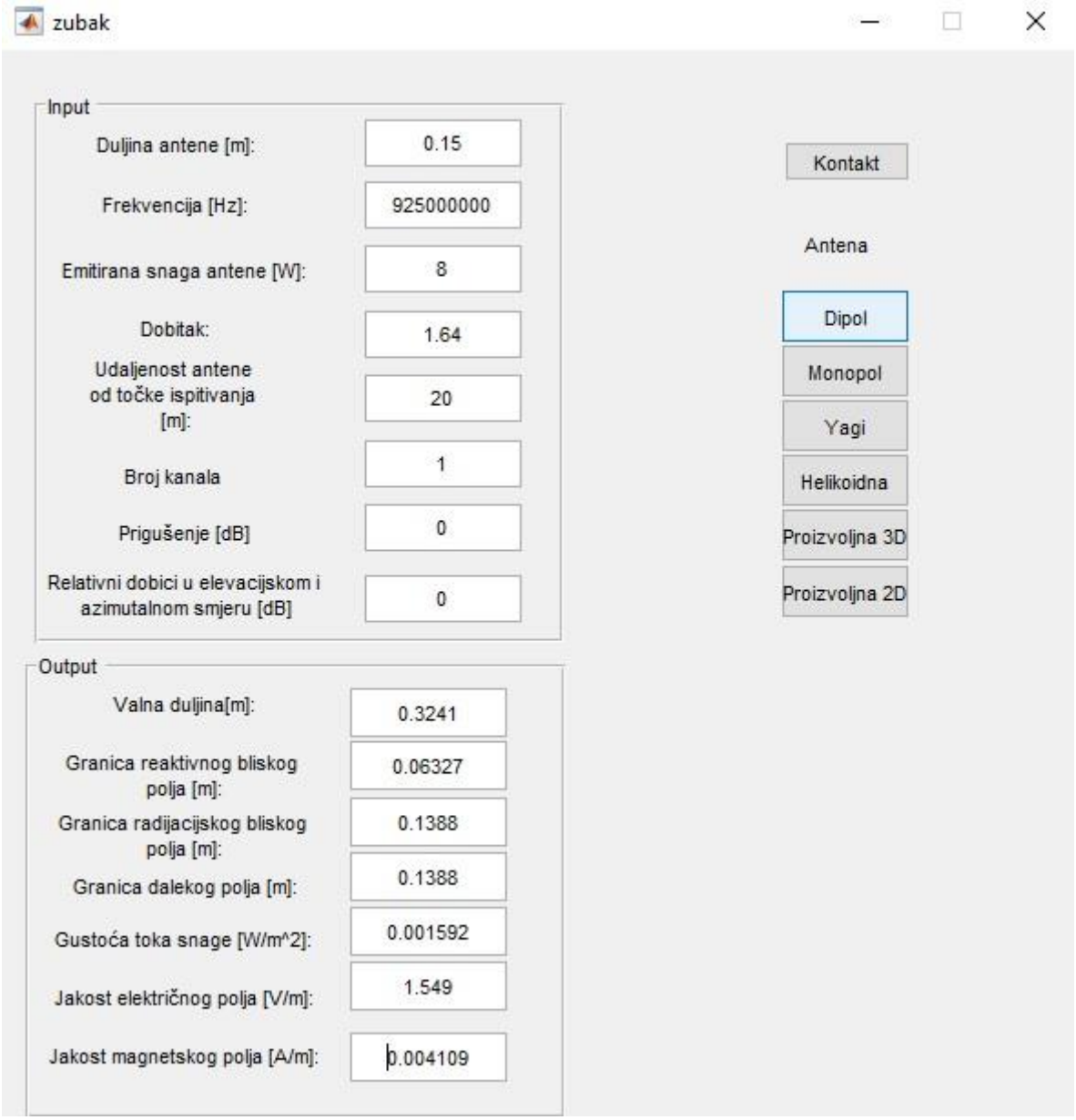
$$I(z,t) = I_T \sin\left[\beta\left(\frac{L}{2} - |z|\right)\right] \cos \omega t \tag{4-8}$$

Gdje je I_T vrijednost struje maksimuma stojnog vala, β fazna konstanta, a L duljina antene. Dipol može biti poluvalni i punovalni, a za primjer je korišten poluvalni dipol.

Tab. 4.1. *Usporedba parametara poluvalnog i punovalnog dipola.*

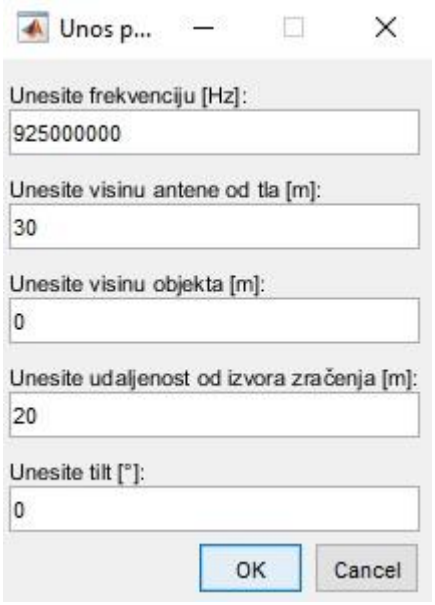
	Poluvalni dipol	**Punovalni dipol**
Otpor zračenja, R_Z	73 Ω	199 Ω
Usmjerenost, D	1.64 (2.15 dB)	2.41 (3.82 dB)
Efektivna površina, A_e	0.131 λ^2	0.192 λ^2
Efektivna duljina, l_{ef}	λ/π	$2\lambda/\pi$

4.1.1. Primjer 1: proračun jakosti električnog polja poluvalnog dipola



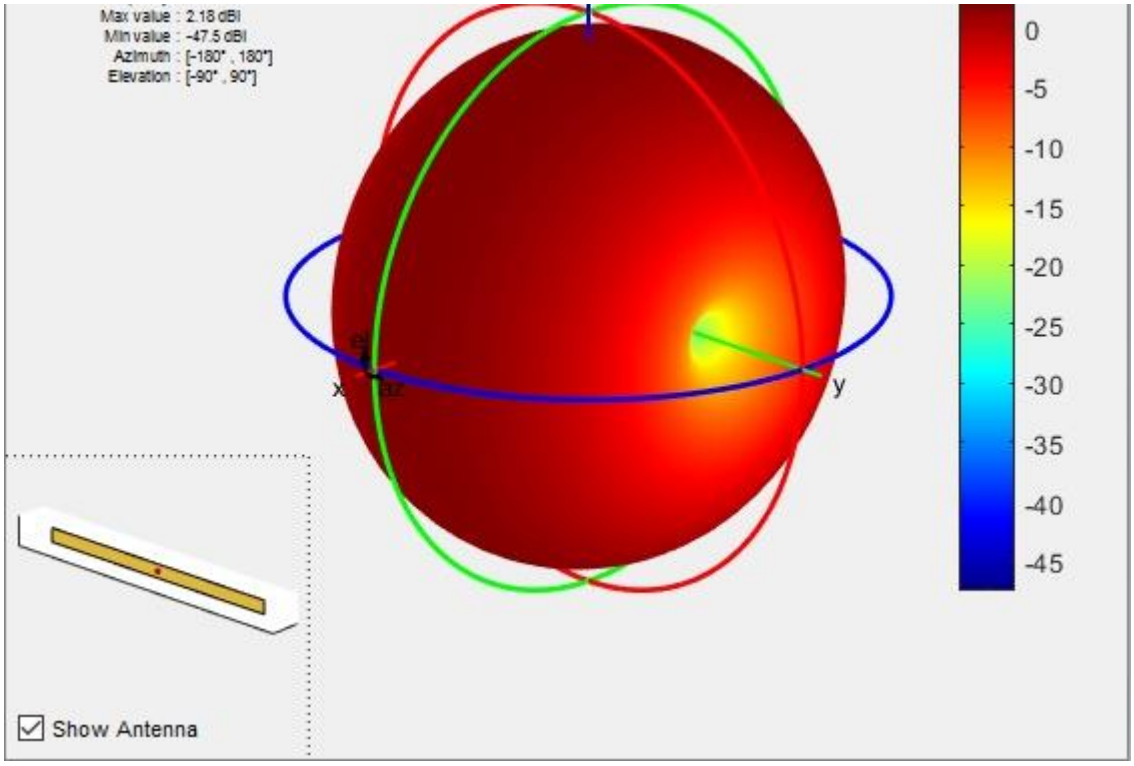
Sl. 4.5. *Prikaz sučelja s rezultatima proračuna.*

Na slici 4.5. prikazano je korisničko sučelje s rezulatima proračuna korištenim u primjeru 1. U primjeru je korištena dipol antena duljine 0.15 metara na frekvenciji 925 MHz. Dobitak dipola je 1.64, a emitirana snaga 8W. Proračun je rađen za slučaj kada je naseljeno područje udaljeno 20 m od bazne stanice.



Sl. 4.6. *Skočni prozor.*

Nakon toga slijedi prikaz dobivenih rezultata.



Sl. 4.7. *3D prikaz dijagrama zračenja.*

Kod 3D prikaza dijagrama zračenja ne mogu se dobro iščitati parametri pa se zračenje prikazuje presjekom u E i H ravnini. U ovom slučaju antena se nalazi duž osi y. U Antenna Toolboxu 3D prikaz dijagrama zračenja generira se pomoću *pattern* naredbe (pattern(object,frequency)). U Matlab biblioteci zasad je moguće ovim putem dobiti rezultate za tridesetak antena. Na slikama

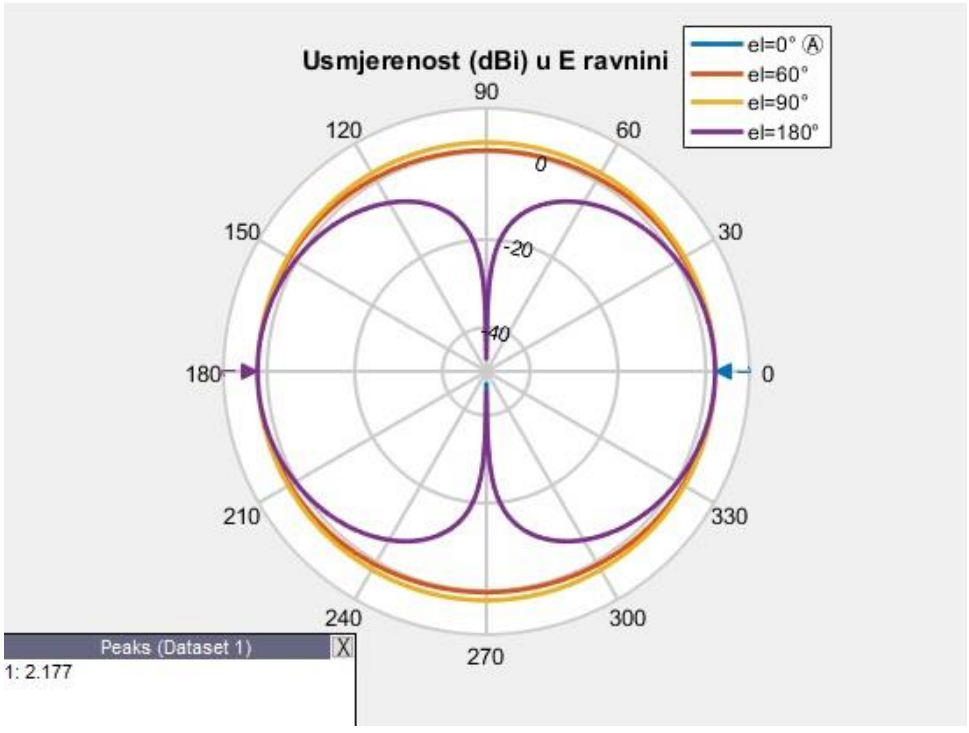
4.8. i 4.9. prikazani su presjeci u polarnom koordinatnom sustavu, međutim moguć je prikaz i u pravokutnom koordinatnom sustavu. Iscrtavanje se radi na proizvoljno odabranim kutevima.

```
patternAzimuth(ant, f0, [0 60 90 180 ]);
patternElevation(ant,f0, [0 90]);
```

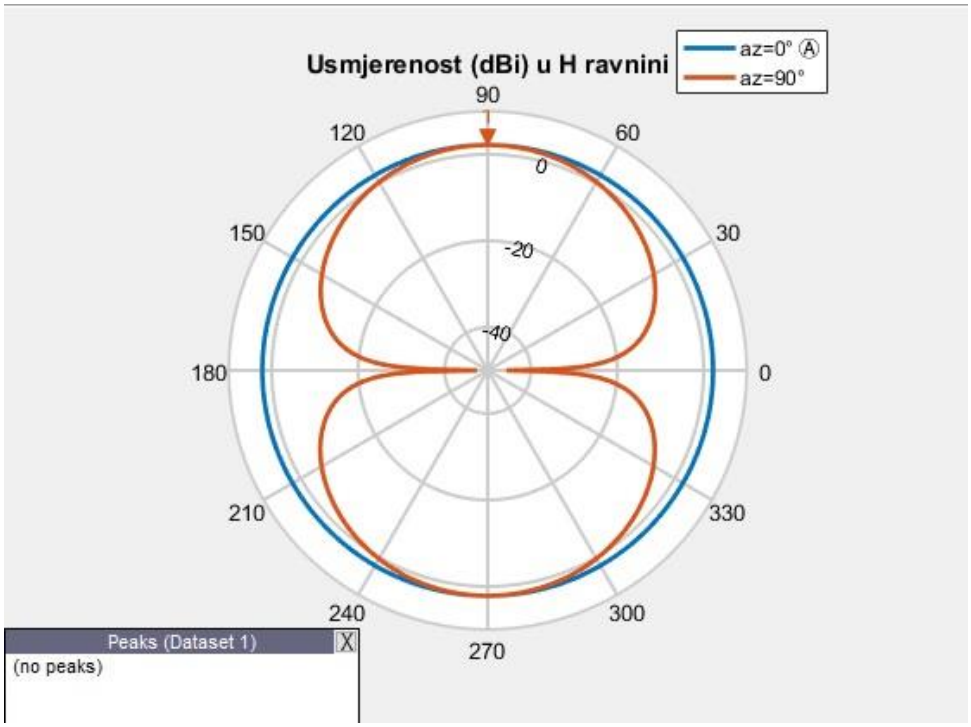
Vidi se da poluvalni dipol ima zračenje simetrično s osi na koju je postavljena antena. Prikaz je u logaritamskom mjerilu. Na slici 4.10. prikazana je distribucija struje duž antene. Kao što se može vidjeti iz dijagrama struja je najveća u točki napajanja antene. Idući prema krajevima struja je sve manja, a na samim krajevima je jednaka nuli. Iz raspodjele ukupne struje duž antene vidljivo je da se maksimumi pojavljuju uvijek na jednom mjestu, tj. dolazi do pojave stojnih valova. Slike 4.11. i 4.12. prikazuju prikaz snage zračenja na površini Zemlje te na web karti. Lokacija se odabire u m-skripti:

```
%lokacija i orijentacija
lat0 =  45.332193; %N 45.5584
lon0 = 18.431488; %E 18.68895
```

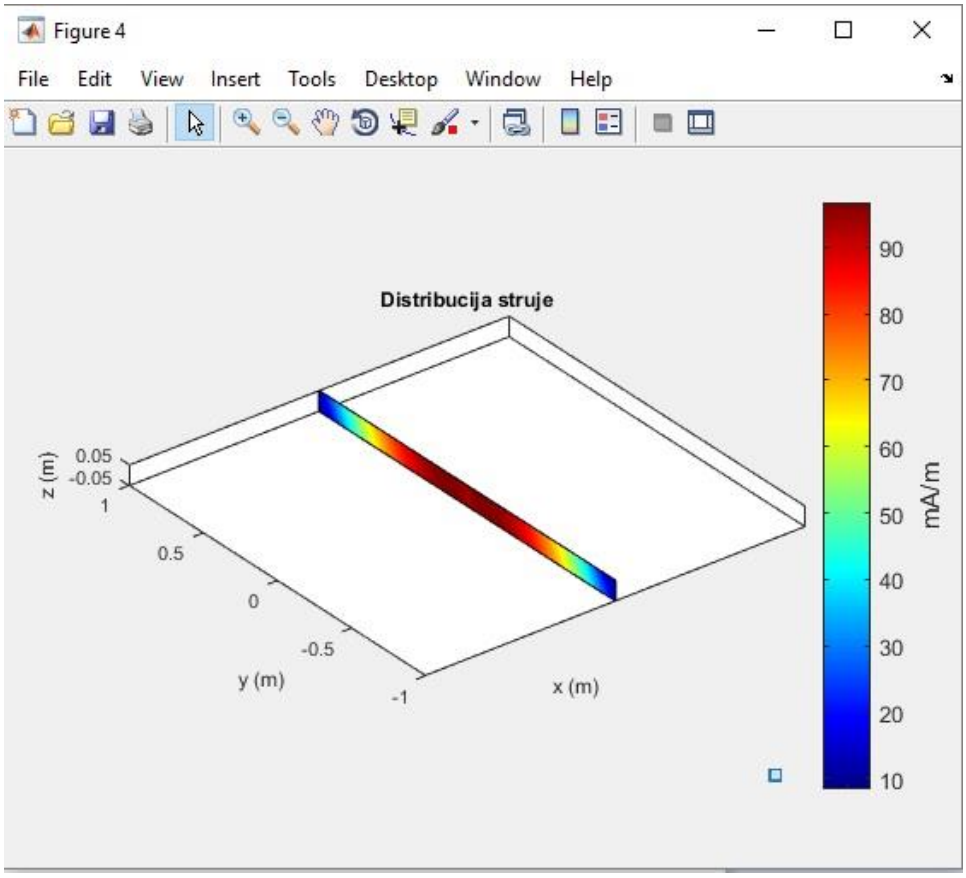
U Antena Toolboxu 2017, dodana je mogućnost odabiranja jedne ili više točaka prijema te mogućnost postavljanja antene na objekt.



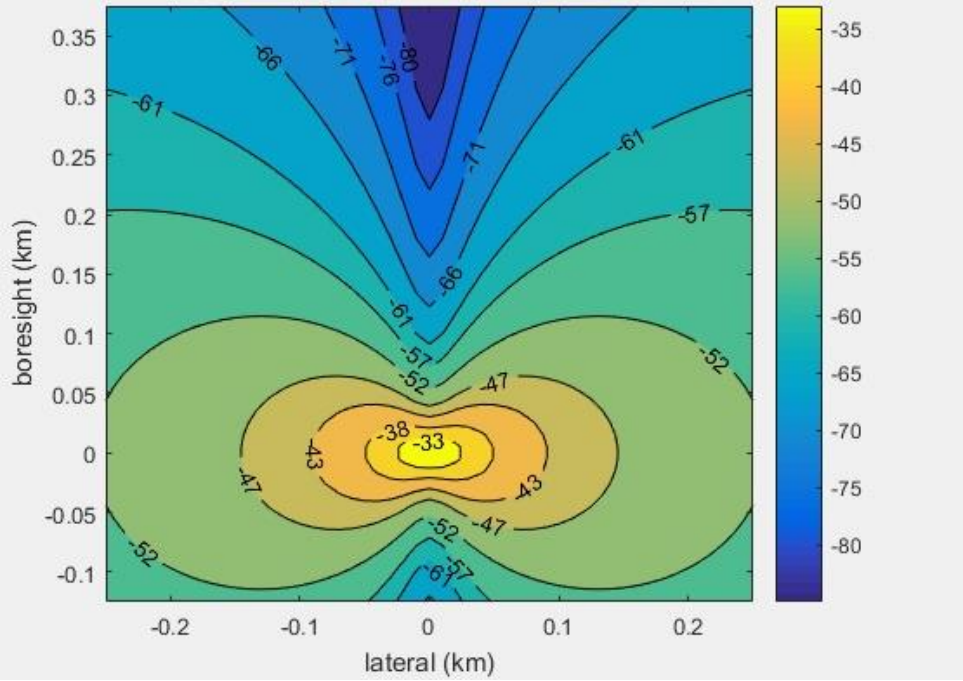
Sl. 4.8. *Dijagram zračenja u E ravnini.*



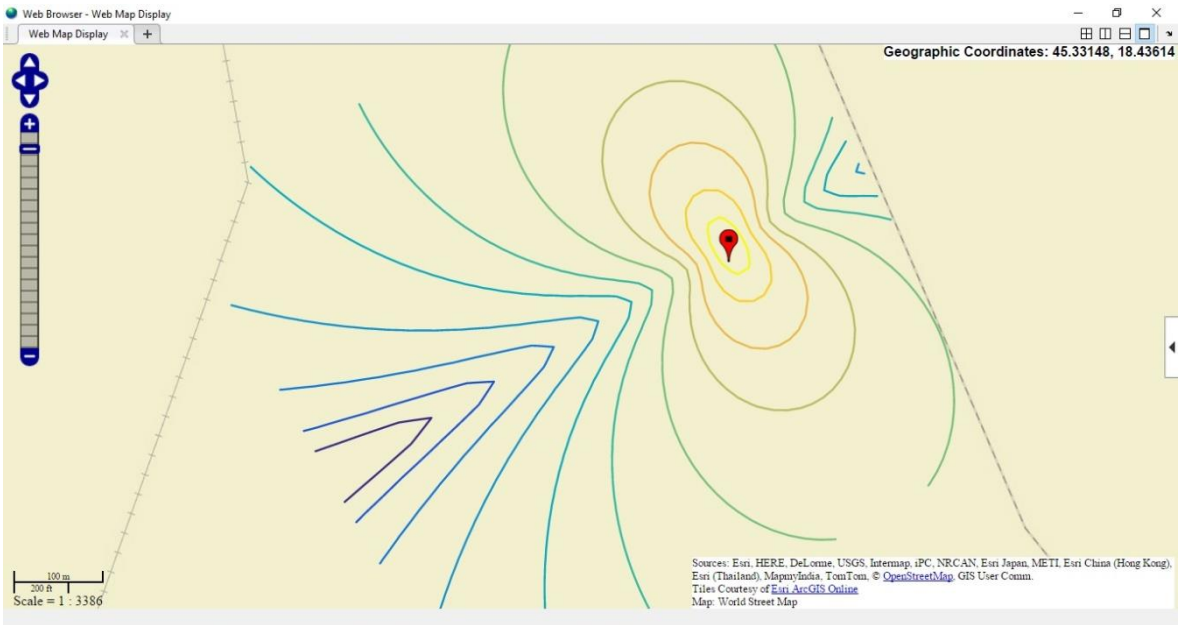
Sl. 4.9. *Dijagram zračenja u H ravnini.*



Sl. 4.10. *Prikaz distribucije struje duž dipola.*



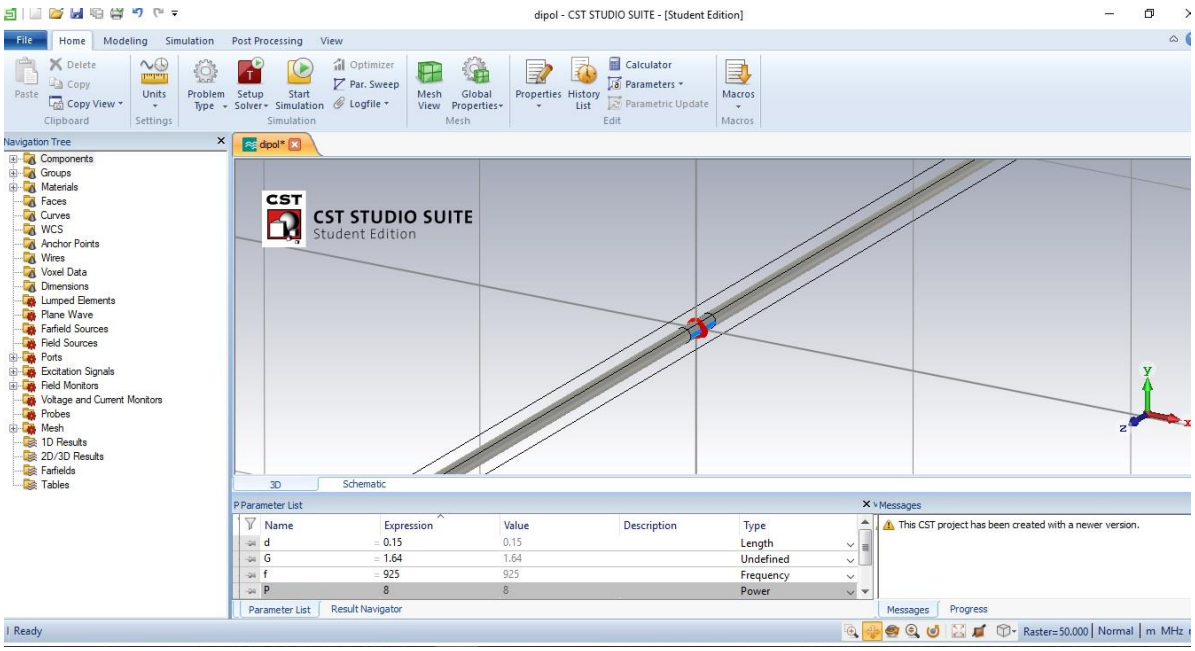
Sl. 4.11. *Prikaz snage zračenja [dB] na površini Zemlje.*



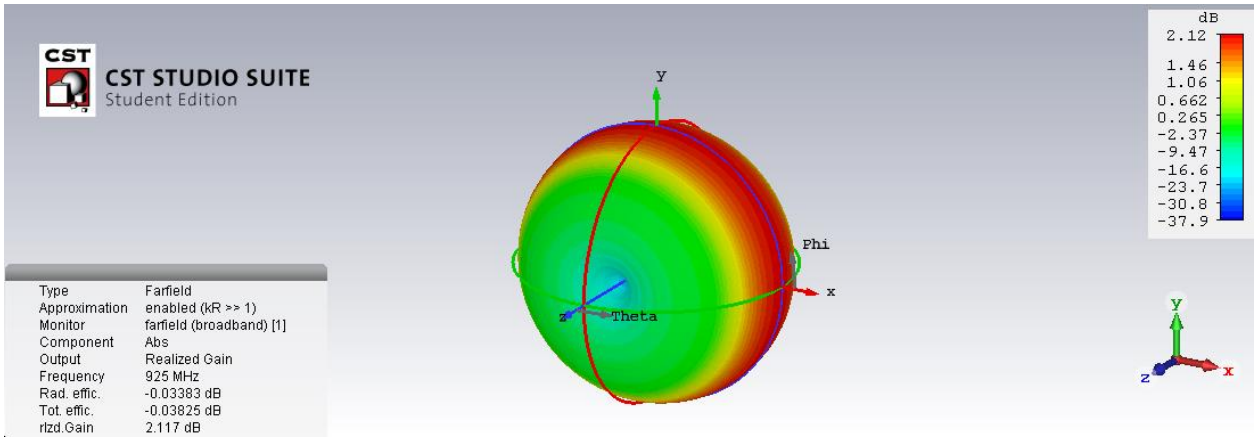
Sl. 4.12. *Prikaz odabrane lokacije na karti.*

Ukoliko se želi simulirati neka antena koja nije navedena u 3D prikazu, to je moguće ostvariti na dva načina jedan je tako da se u kodu pozove tražena antena ukoliko ista postoji u Antenna Toolboxu, a drugi je klikom na tipku *Proizvoljna3D*. Pri tome je potrebno učitati csv ili xsls datoteku naredbama *csvread*, odnosno *xlsread*. Ako csv datoteka nije dostupna, do nje je moguće doći korištenjem programa za dizajn antena, kao što su CST (engl. *Computer Simulation Technology*) ili HFSS (engl. *High Frequency Simulation Software*). U

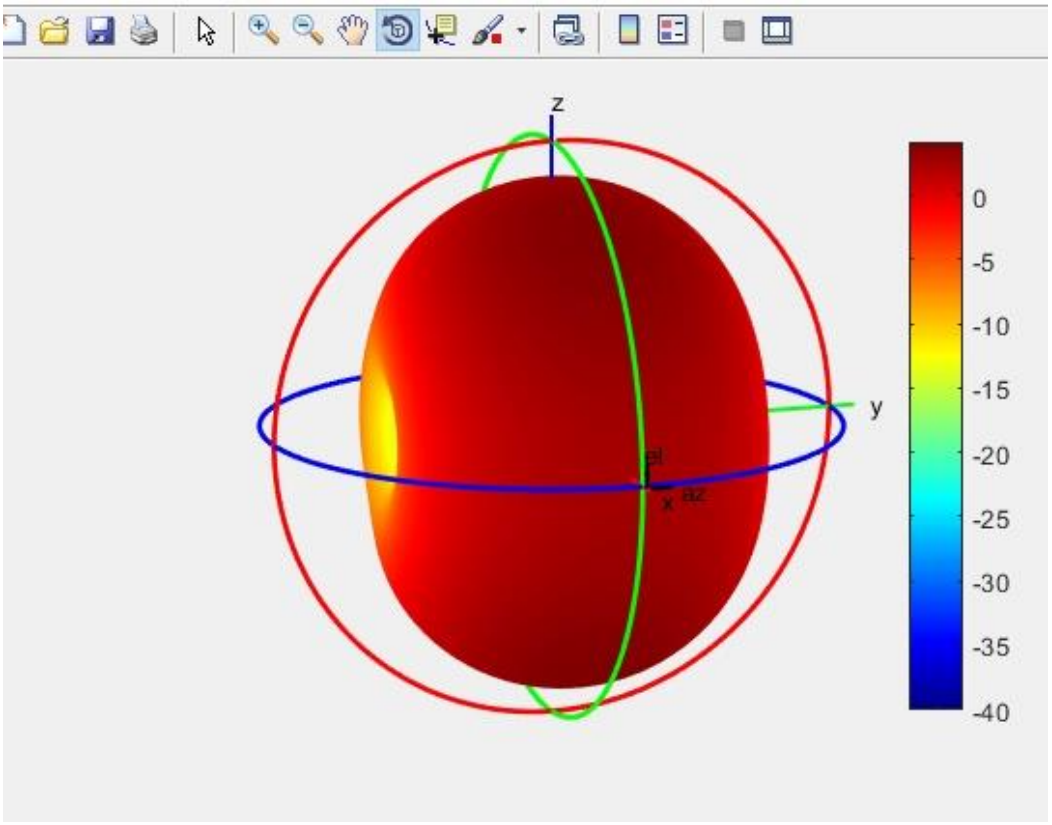
ovom radu korišten je CST program za simulaciju poluvalnog dipola istih karakteristika koje su korištene u prethodnom primjeru. Za 3D prikaz potrebna je informacija o dobitku za svaku kombinaciju kutova φ i θ. Time se dobije matrica 65160×1. Osim ove antene u prilogu su dane još dvije tablice za druge antene. Na slici 4.13. prikazno je kreiranje dipol antene duljine 0.15 metara na frekvenciji 925 MHz. Dobitak dipola je 1.64, a emitirana snaga 8W. Pokretanjem simulacije dobiva se dijagram zračenja antene prikazan na slici 4.14. Spremanjem modela kreira se mapa pod istoimenim nazivom unutar koje se pod mapom Export mogu pronaći matrice 65160×1 koje se dalje u ovom slučaju koriste u Matlabu. U Matlab programu pokretanjem proizvoljne 3D antene učitava se prethodno dobivena matrica. Na slici 4.15. prikazan je 3D dijagram zračenja, a na slici 4.16. trodimenzionalni dijagram zračenja u pravokutnom koordinatnom sustavu.



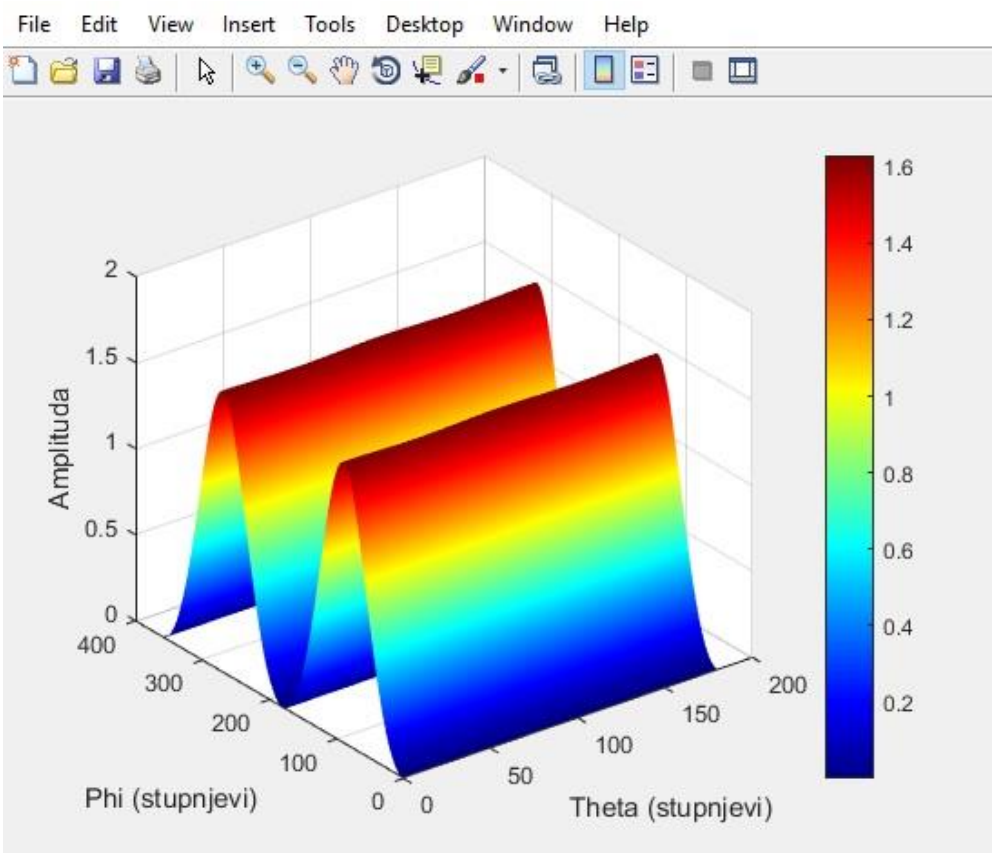
Sl. 4.13. *Prikaz antene u CST programu.*



Sl. 4.14. *Prikaz 3D dijagrama zračenja.*



Sl. 4.15. *Dijagram zračenja u Matlabu*

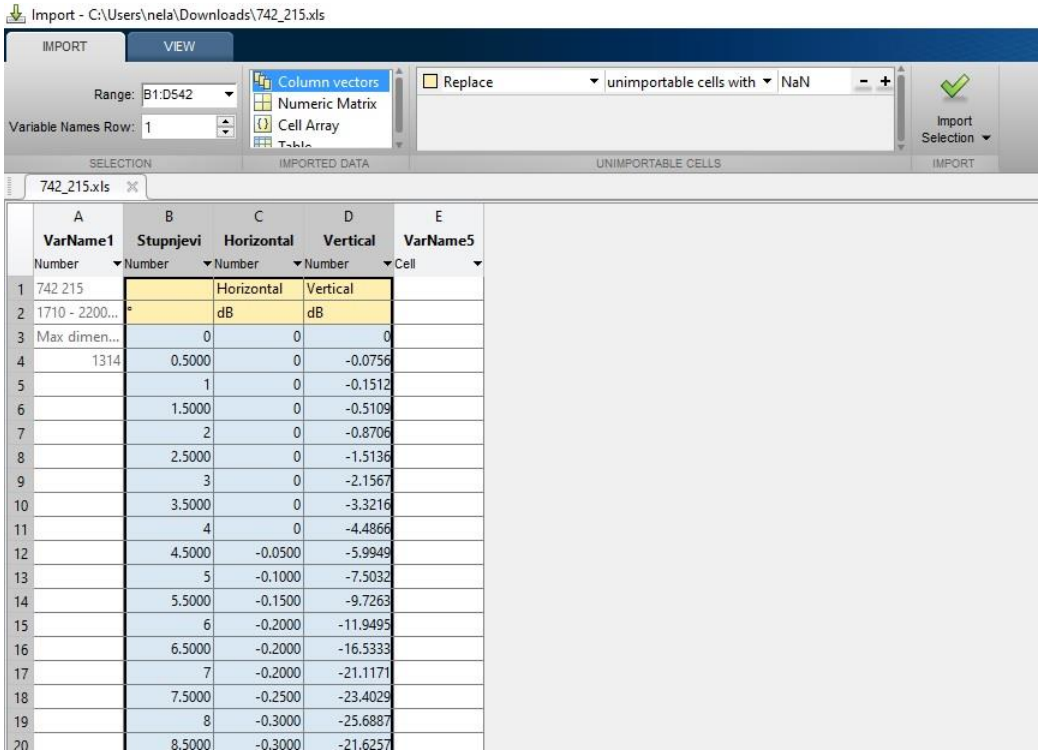


Sl. 4.16. *3D prikaz ovisnosti φ i θ .*

Ukoliko se želi proučiti 2D dijagram zračenja koji nije naveden među antenama, to se može riješiti pritiskom na tipku *Proizvoljna2D.* Za rad je potrebno imati xls ili csv datoteku koja sadrži informacije potrebne za crtanje dijagrama zračenja. Datoteka se otvori u Matlabu, označe se informacije koje se žele koristit za prikaz te pritiskom na tipku Import Selection iste se učitaju kao .mat datoteka koja se dalje koristi programu.

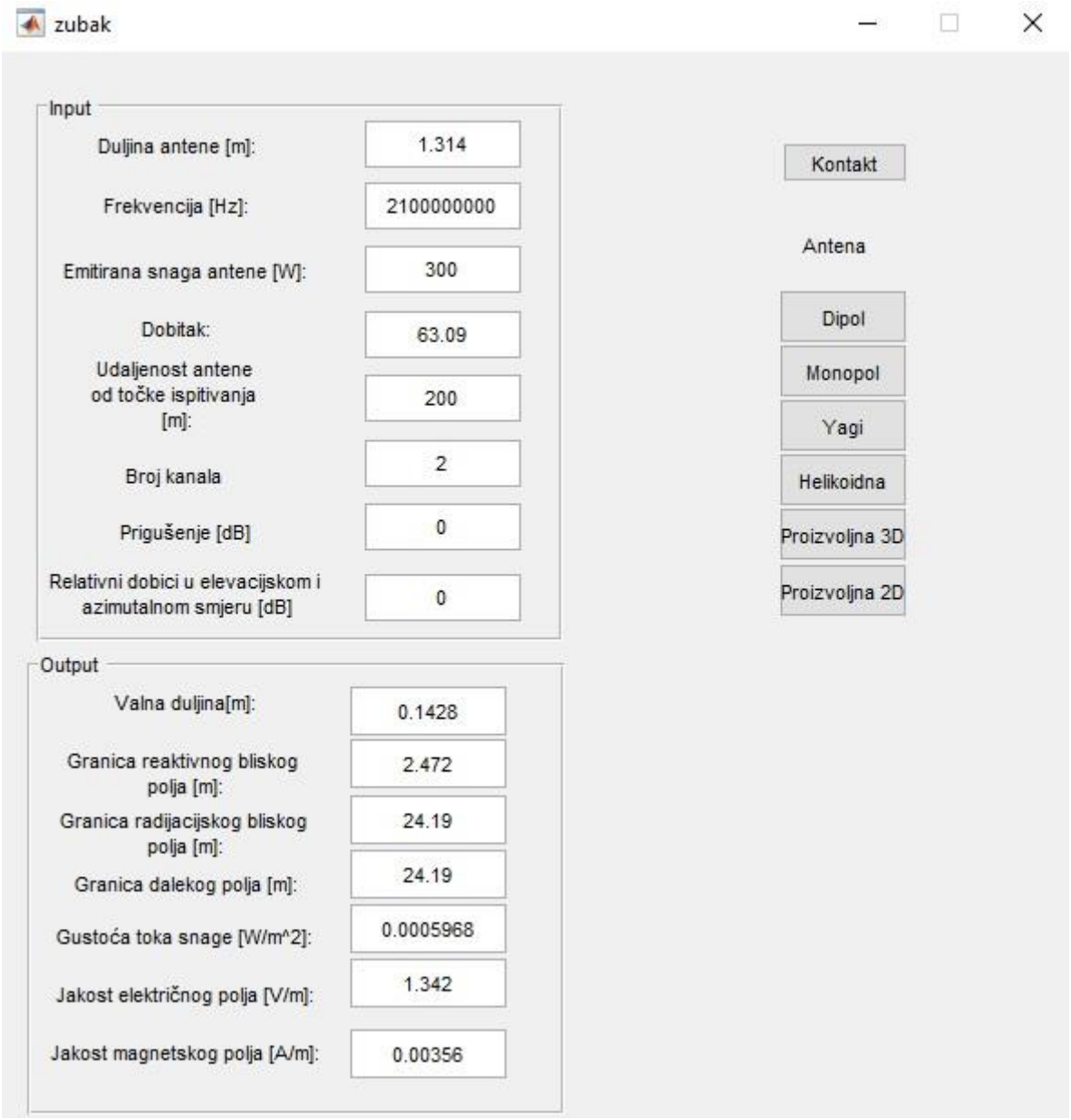
4.1.2. Primjer 2: proračun jakosti električnog polja antene Kathrein 742215

Za ovaj primjer korištena je Kathrein 742215 antena, čiji se tehnički podaci nalaze u prilogu 2. Na slici 4.18. dan je prikaz korisničkog sučelja s rezultatima proračuna. Primjer je rađen za rad na frekvenciji 2.1 GHz, pri čemu duljina antene iznosi 1.314 metara, emitirana snaga pri tome iznosi 300 W, a dobitak je 18dB. Antena ima dva kanala, a proračun je rađen za slučaj kada se naseljeno područje nalazi 200 metara od bazne stanice. Na slikama 4.19. i 4.20. prikazani su dobiveni dijagrami zračenja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini.

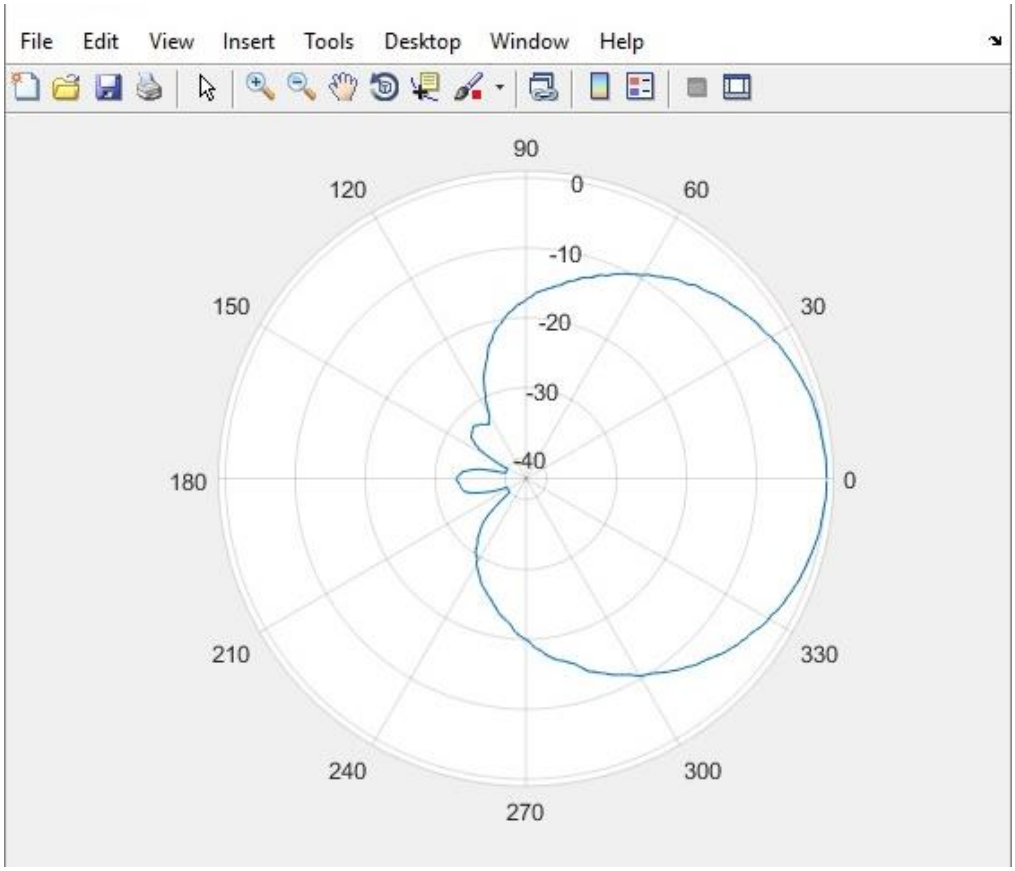


	A	B	C	D	E
	VarName1	Stupnjevi	Horizontal	Vertical	VarName5
	Number	Number	Number	Number	Cell
1	742 215		Horizontal	Vertical	
2	1710 - 2200...	°	dB	dB	
3	Max dimen...	0	0	0	
4	1314	0.5000	0	-0.0756	
5		1	0	-0.1512	
6		1.5000	0	-0.5109	
7		2	0	-0.8706	
8		2.5000	0	-1.5136	
9		3	0	-2.1567	
10		3.5000	0	-3.3216	
11		4	0	-4.4866	
12		4.5000	-0.0500	-5.9949	
13		5	-0.1000	-7.5032	
14		5.5000	-0.1500	-9.7263	
15		6	-0.2000	-11.9495	
16		6.5000	-0.2000	-16.5333	
17		7	-0.2000	-21.1171	
18		7.5000	-0.2500	-23.4029	
19		8	-0.3000	-25.6887	
20		8.5000	-0.3000	-21.6257	

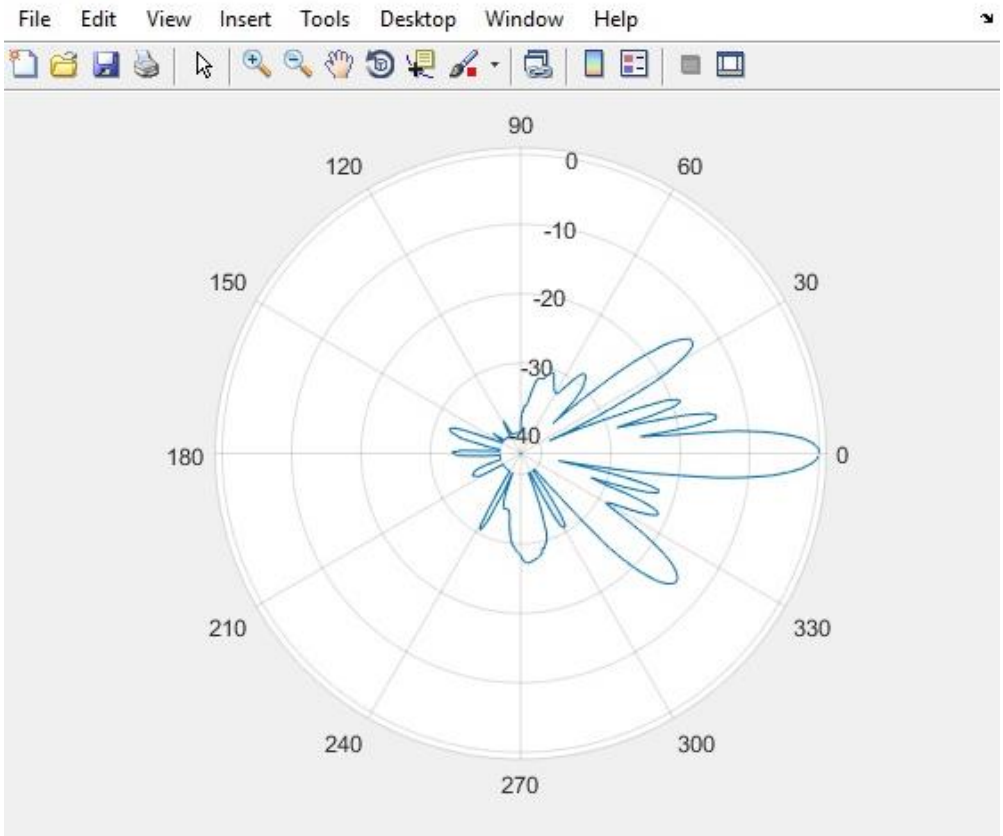
Sl. 4.17. *Uvoz xls datoteke u Matlab.*



Sl. 4.18. *Prikaz korisničkog sučelja s rezultatima proračuna.*

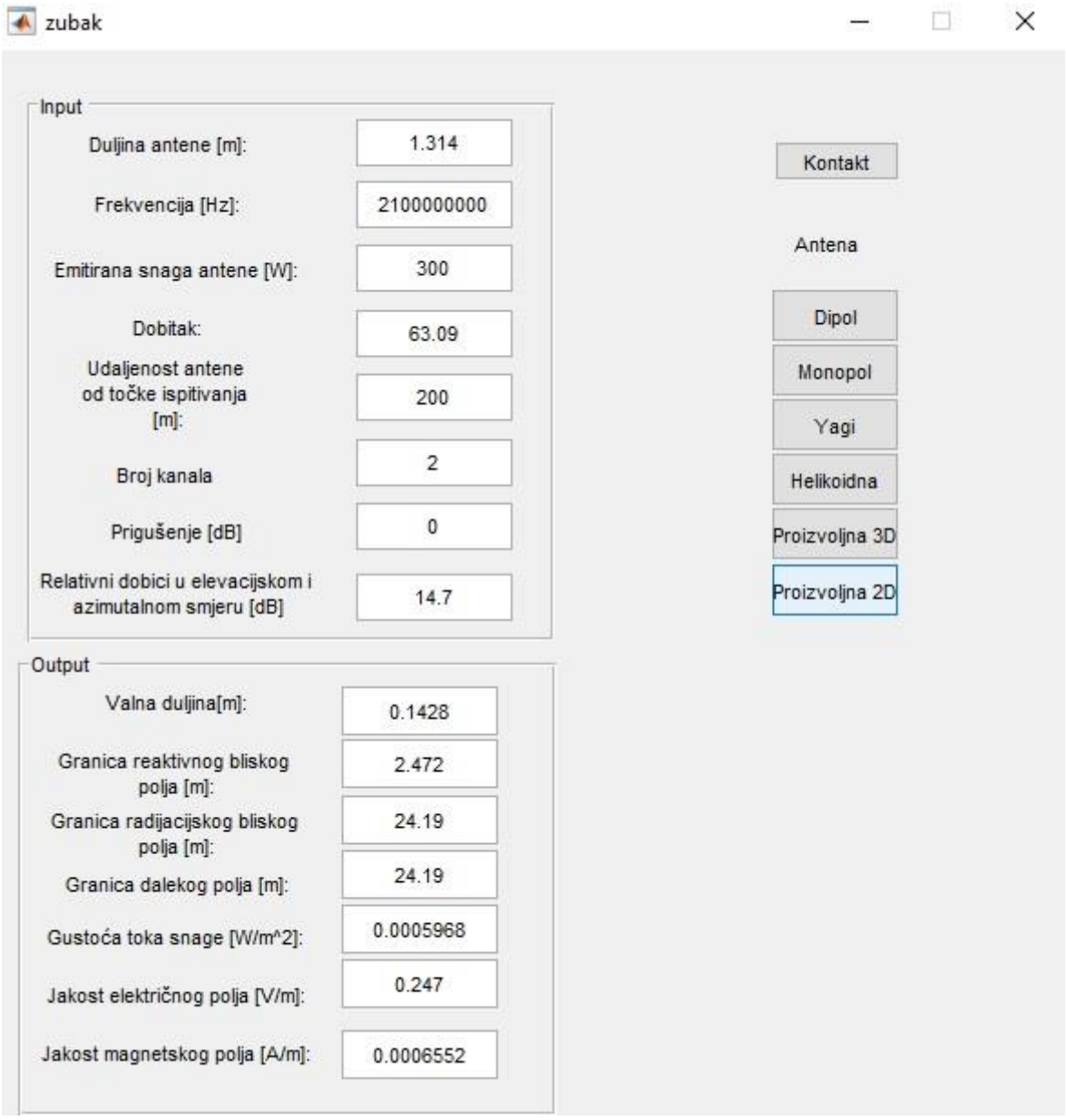


Sl. 4.19. *Horizontalni prikaz dijagrama zračenja.*

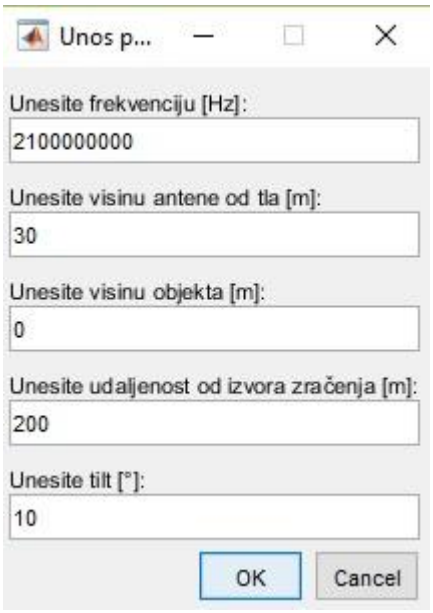


Sl. 4.20. *Vertikalni prikaz dijagrama zračenja.*

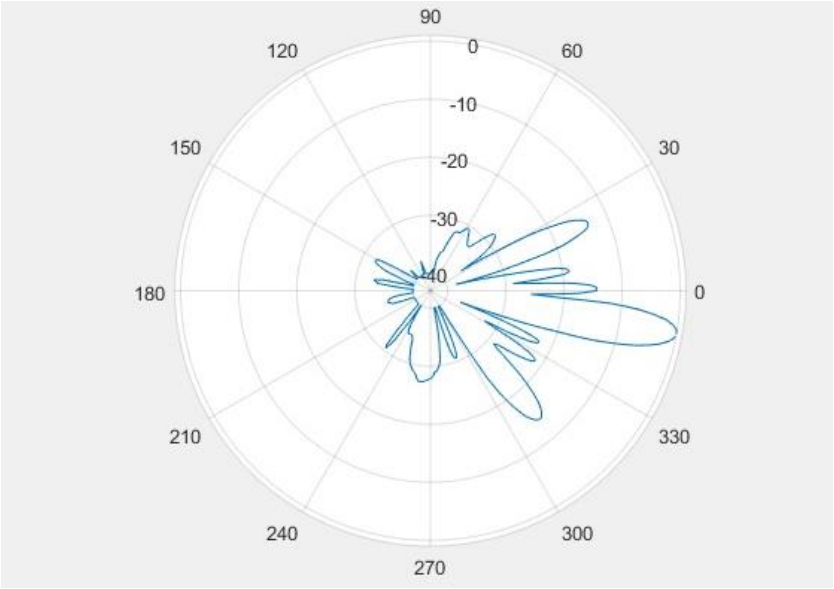
Iz dijagrama zračenja na slici 4.20. vidi se da je antena usmjerena. Najveći dio elektromagnetske energije koja s odašilje nalazi se unutar glavnog snopa, koji je dosta širok, 65° u horizontalnoj (sl. 4.19.) i samo 6.2° (sl. 4.20.) u vertikalnoj ravnini. Kada bi antena bila postavljena kao na slici 4.20. to bi rezultiralo slabim signalom u okolini bazne postaje, radi toga se naginje prema zemlji (mehanički ili elektronički) uz tilt između 5 i 10°. Na slici 4.21. prikazano je korisničko sučelje s rezultatima proračuna pri čemu se vidi da se jakost električnog polja promijenila sa 1.342 V/m (sl. 4.18.) na 0.247 V/m (sl. 4.21) u najgorem slučaju. Slika 4.22. prikazuje skočni prozor na kojemu se podešava željeni tilt, u ovom slučaju 10°, a rezultat je prikazan na slici 4.23.



Sl. 4.21. *Prikaz sučelja s rezultatima proračuna.*

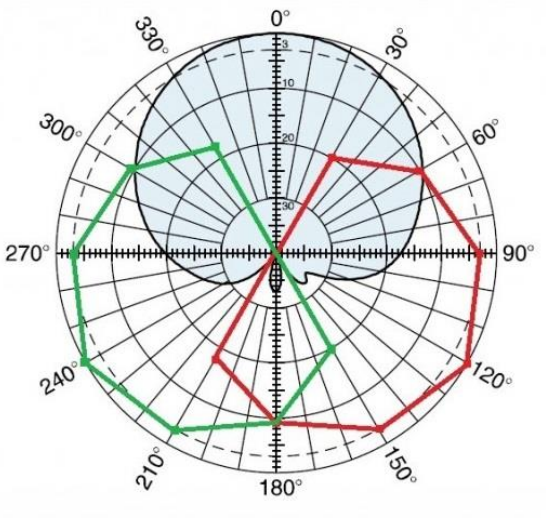


Sl. 4.22. *Podešavanje tilta za 10°*



Sl. 4.23. *Vertikalni dijagram zračenja, zakrenut za 10° u urbanoj sredini.*

Bazne postaje se najčešće postavljaju u sektorskom aranžmanu što bi izgledalo kao prikaz na slici 4.24. kada bi se dodala još dva horizontalna dijagrama zračenja zakrenuta za 120 i 240° po azimutu.



Sl. 4.24. *Horizontalni prikaz zračenja sektor antene [18].*

4.2. Matematički proračun primjera

4.2.1. Prikaz matematičkog rješenja za primjer 1:

Primjer zračenja dipol antene gdje je naseljeno područje udaljeno 20m od bazne postaje.

EIRP = 8 W

N = 1

G = 1,64

r = 20 m

L=0 dB

$\Delta G_\theta = \Delta G_\Phi = 0$ dB

P_{EIRP} = Pt[dB]+G[dB]-L[dB]-(ΔG_θ [dB]+ ΔG_Φ[dB])= 6,883+2,15-0-0= 9,033 dB

$$P_{EIRP}[W] = 10^{\frac{P_{EIRP}[dB]}{10}} = 8W$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{EIRP}[W]}}{r} = 0{,}7746\ V/m$$

U obzir je uzet scenarij najgoreg slučaja, a to je da su upadni i reflektirani kut u fazi te da se reflektirana zraka odbije od tla, a faktor totalne refleksije Γ_R iznosi 2, tada se kao rješenje dobiva duplo veća vrijednost upadnog polja pa slijedi:

$$E = 2 \cdot 0{,}7746 \frac{V}{m} = 1{,}549 \frac{V}{m} \quad \rightarrow \quad 1{,}549 \frac{V}{m} \ll 16{,}82 \frac{V}{m}$$

Dakle i u najgorem slučaju električno polje je manje od razine električnog polja propisane je Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 204/03, 15/04 i 41/08) koja iznosi:

Za područje povećane osjetljivosti:

- 16, 82 V/m na GSM području

Gustoća toka snage može se računati prema (3-11)

$$S = \frac{P_t G}{4\pi r^2} = \frac{8}{4\pi \cdot 20^2} = 0{,}001592 \ \frac{W}{m^2}$$

A magnetsko polje može se dobiti iz električnog preko relacije:

$$H = \frac{E}{120\pi} = \frac{0{,}7746}{376{,}99} = 0{,}002055 \frac{A}{m}$$

U najgorem slučaju

$$H = \frac{E}{120\pi} = \frac{1{,}549}{376{,}99} = 0{,}004109 \frac{A}{m}$$

Kako je za frekvenciju uzet iznos od 925 MHz mogu se izračunati područja bliskog i dalekog polja.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{925 \cdot 10^6} = 0{,}3241 \ m$$

Daleko polje dobije se preko relacije (3-9)

$$R_g = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0{,}15^2}{0{,}3241} = 0{,}1389 \ m$$

Granice bliskog reaktivnog polja dobivaju se preko relacije:

$$R \leq 0{,}63\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} = 0{,}63\sqrt{\frac{0{,}15^3}{0{,}3241}} = 0{,}06429\ m$$

A blisko radijacijsko polje nalazi se između dalekog i reaktivnog.

4.2.2. Prikaz matematičkog rješenja za primjer 2:

Prikaz matematičkog rješenja za Kathrein 742215 antenu, gdje je naseljeno područje udaljeno 200 metara od bazne postaje.

EIRP = 300 W

$N = 2$

g = 18dBi

r = 200 m $\qquad G = 10^{\frac{18}{10}} = 63{,}09$

$$E = \frac{\sqrt{30NP_tG}}{r} = \frac{\sqrt{30N \cdot EIRP}}{r} \rightarrow EIRP = P_tG \rightarrow P_t = \frac{EIRP}{G} = \frac{300W}{63{,}09} = 4{,}755\ W$$

$$E = \frac{\sqrt{30NP_tG}}{r} = \frac{\sqrt{30 \cdot 2 \cdot 4{,}755 \cdot 63{,}09}}{200} = 0{,}6708\ V/m$$

Ukoliko se u obzir uzme najgori slučaj, a to je da su upadni i reflektirani kut u fazi te da se reflektirana zraka odbije od tla, a faktor totalne refleksije Γ_R iznosi 2, tada se kao rješenje dobiva duplo veća vrijednost upadnog polja pa slijedi:

$$E = 2 \cdot 0{,}6708\frac{V}{m} = 1{,}342\frac{V}{m} \quad \rightarrow \quad 1{,}342\frac{V}{m} \ll 25{,}20\frac{V}{m}$$

Dakle i u najgorem slučaju električno polje je daleko manje od razine električnog polja propisane je Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 204/03, 15/04 i 41/08) koja iznosi:

Za područje povećane osjetljivosti:

- 25,20 V/m na UMTS području

Gustoća toka snage može se računati prema (3-11)

$$S = \frac{P_tG}{4\pi r^2} = \frac{300}{4\pi \cdot 200^2} = 5{,}971 \cdot 10^{-4}\ \frac{W}{m^2}$$

A magnetsko polje može se dobiti iz električnog preko relacije:

$$H = \frac{E}{120\pi} = \frac{0{,}6708}{376{,}99} = 1{,}779 \cdot 10^{-3}\,\frac{A}{m}$$

U najgorem slučaju

$$H = \frac{E}{120\pi} = \frac{1{,}342}{376{,}99} = 3{,}559 \cdot 10^{-3}\,\frac{A}{m}$$

Uz relativni dobitak u smjeru elevacije jakost električnog polja se povećava:

L= 0 dB

ΔG_{θ}= -14,4 dB

ΔG_{Φ}= -0,3dB

P_{EIRP} = Pt[dBm]+G[dB]-L[dB]+(ΔG_{θ} [dB]+ ΔG_{Φ}[dB])= 54,77-0-14,7= 40,07 dBm = 10,16W

$$E = 2 \cdot \frac{\sqrt{30 \cdot N \cdot P_{EIRP}[W]}}{r} = 0{,}2469\ V/m$$

Kako je za frekvenciju uzet iznos od 2.1 GHz mogu se izračunati područja bliskog i dalekog polja.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^{8}}{2{,}1 \cdot 10^{9}} = 0{,}1429\ m$$

Daleko polje dobije se preko relacije (3-9)

$$R_g = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1{,}314^2}{0{,}1429} = 24{,}17m$$

Granice bliskog reaktivnog polja dobivaju se preko relacije:

$$R \leq 0{,}63\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} = \ 0{,}63\sqrt{\frac{1{,}314^3}{0{,}1429}} = 2{,}510\ m$$

A blisko radijacijsko polje nalazi se između dalekog i reaktivnog.

Pri računanju jakosti elektromagnetskog polja i gustoće snage upotrebljavaju se različiti

modeli računanja. Za daleko i blisko radijacijsko područje, prema HRN EN 50383:2012., koriste se tri modela izračuna:

- model daleko polje (engl. *far-field model*);
- sintetički model (engl. *synthetic model*) te
- model cilindričnog vala (engl. *cylindrical wave model*);

Dok se za blisko reaktivno polje koriste metode punog vala (engl. *full- wave methods)* koje su zasnovane na rješavanju Maxwellovih jednadžbi u vremenskoj ili frekvencijskoj domeni uz korištenje detaljno-segmentiranih modela. U ovisnosti o numeričkoj implementaciji radi se o slijedećim metodama:

- metoda konačnih razlika u vremenskoj domeni (FDTD);
- metoda momenata (MoM);
- metoda konačnih elemenata (FEM)
- metoda matrice prijenosne linije (TLM).

4.3. Procjena izloženosti zračenja u okolini bazne postaje

Procjena izloženosti zračenja napravljena je za Kathrein 742215 antenu na udaljenostima od 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 i 180 metara te na visinama od 0, 10, 20 i 30 metara uz tilt 0 i 10°. Proračun je rađen pomoću programskog paketa Matlab uz promjenu ranije navedenih parametara, a rezultati se nalaze u tablicama 4.2. te 4.3.. Jakost električnog polja propisana zakonom za frekvenciju od 2.1 GHz iznosi 25.20 V/m. Kritična točka je dobivena na udaljenosti od 10 metara, na visini 30 metara s tiltom 0°. Na istoj visini je postavljena i antena te se mjerno mjesto nalazi unutar glavne latice. Pri tome se jakost polja povećava reflektirana zraka zbog čega polje ima jakost 28.63 V/m. S tiltom od 10° i ova točka postaje sigurna. Jakost polja je veća u blizini antene i zbog utjecaja bočnih latica koji je značajniji na manjim udaljenostima. U obzir pri proračunu nije uzeta konfiguracija terena koja na izbor mjernog mjesta utječe s dva parametra: visinskom razlikom i objektima koji se nalaze na liniji zračenja sustava. Iz dobivenih rezultata vidi se da se jakost polja smanjuje s udaljenošću, a raste s visinom. Prevelikim povećanjem tilta jakost polja značajno se smanjuje te je područje pokrivanja antene manje. Neki objekti mogu biti pokriveni samo reflektiranom zrakom pri čemu bi se moguće kritične točke mogle naći na mjestima gdje se preklapaju glavna i reflektirana zraka ili više njih, reflektiranih od drugih objekata. Mjerna

mjesta na koja je potrebno obratiti više pozornosti su ona koja se nalaze pod utjecajem zračenja više baznih postaja. Dio Matlab koda korišten za proračun je sljedeći:

```
h1=30; %visina antene
h2=0; %visina mjernog mjesta
d=100; %udaljenost od antene
P=300; %snaga antene
Gt=18; %dobitak antene
L0=0; %gubici sustava
Gtheta=0; %relativni dobitak u smjeru elevacije
Gfi=0; %relativni dobitak u azimutalnom smjeru
N=2; %broj kanala

r=sqrt((h1-h2)^2+d^2)
Gtt=10^(Gt/10)
PT = P/Gtt
Pt = 10*log10(PT)
Peirp = Pt+Gt-L0+(Gtheta+Gfi)
PW = 10.^(Peirp/10)
E = 2*(sqrt(30*N*PW))/r
kutpomaka = atan(((h1-h2)/d)*(180/3.14))-10
```

Tab. 4.2. *Proračun jakosti električnog polja uz tilt 0°.*

d / h	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180
0	8,485	7,442	5,367	4,000	3,141	2,570	2,169	1,874	1,648	1,470
10	12,00	9,487	6,000	4,243	3,254	2,631	2,206	1,897	1,664	1,482
20	18,97	12,00	6,508	4,411	3,328	2,670	2,228	1,912	1,674	1,488
30	26,83	13,42	6,708	4,472	3,354	2,683	2,236	1,917	1,677	1,491

Tab. 4.3. *Proračun jakosti električnog polja uz tilt 10°.*

d / h	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180
0	1,562	1,369	0,9876	0,7363	0,5781	0,4731	0,3993	0,3450	0,3034	0,2707
10	2,209	1,746	1,105	0,7810	0,5990	0,4843	0,4060	0,3493	0,3063	0,2727
20	3,493	2,209	1,198	0,8120	0,6126	0,4915	0,4102	0,3519	0,3081	0,2740
30	4,939	2,469	1,235	0,8232	0,6174	0,4939	0,4116	0,3528	0,3087	0,2744

5. ZAKLJUČAK

Razvojem pokretnih komunikacija došlo je do naglog porasta instaliranih baznih postaja, što je automatski povuklo pitanje štetnosti tih baznih postaja. U Hrvatskoj, prema zakonu, neovisni laboratoriji prije nego bazna postaja dobije dozvolu za početak rada rade procjenu jakosti polja na najugroženijim mjestima u okolini bazne postaje, a po puštanju u rad i kontrolna mjerenja kako bi se osigurala zaštita ljudi od zračenja baznih postaja. Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja određene su granične vrijednosti jakosti polja i gustoća snage elektromagnetskog vala tako da su značajno ispod onih vrijednosti koje bi uzrokovale opasnost po zdravlje. Kontrolom pri puštanju u rad baznih postaja, ali i periodičnim kontrolnim mjerenjima osigurava se da ljudi koji borave u njihovoj okolini nisu izloženi za zdravlje opasnim vrijednostima zračenja. Najveći problem kod instaliranja baznih postaja su one koje ljudi postavljaju ilegalno i bez prethodnih provjera njihovog zračenja. Prema zakonu o zaštiti od neionizirajućih zračenja [3], stavci 3 (Mjere zaštite od neionizirajućih zračenja), članku 7. kao mjere zaštite navedene su ograničenje graničnih vrijednosti, proračun i procjena zračenja te kontrola izloženosti. Za provođenje navedenih mjera nadležno je Ministarstvo zdravlja. Mjerenja provode ovlašteni mjeritelji. Za dobivene rezultate ocjenjuje se sukladnost u odnosu na referentne granične razine zračenja. Kontrole se vrše prije postavljanja izvora, provode se i kontrole nakon puštanja izvora u rad, te redovne kontrole tijekom njegova rada.

U ovome radu dane su teorijske osnove za izračun jakosti električnog polja u okolini baznih postaja mobilnih sustava te je dan pregled normi i pravilnika koji se primjenjuju u zaštiti ljudi od neionizirajućih zračenja. Na temelju teorijskih izraza za izračun jakosti električnog polja izrađen je program za određivanje kritičnih zona u prostoru oko baznih postaja uzimajući u obzir sve tri prostorne dimenzije i dijagrame zračenja antena u E i H ravnini. Za odabrani primjer napravljena je procjena kritičnih točaka u okolini bazne postaje. Proračun polja rađen je primjenom analitičkih relacija koje su proizašle iz metoda geometrijske optike. Analiza proračuna pokazuje da dobivene jakosti polja na mjestima gdje se očekuje boravak ljudi ne prelaze granične vrijednosti za izloženost opće i profesionalne populacije.

Osim toga ne treba zaboraviti na pozitivne učinke neionizirajućih elektromagnetskih polja. Danas se ona primjenjuju u stomatologiji, u liječenju kardiovaskularnih bolesti, probavnih smetnji, koristi se u terapijske svrhe pa čak i u liječenju karcinoma, kojeg

navodno uzrokuje. Naposljetku, prošlo je relativno kratko razdoblje od početka istraživanja utjecaja neionizirajućih zračenja na ljudsko zdravlje te se u budućnosti može očekivati otkrivanje i drugih efekata na ljudsko zdravlje osim toplinskog.

LITERATURA

[1] Ž. Korša, E. Mileusnić, *Priručnik prema temeljnom programu osposobljavanja za rad na siguran način*, Hrvatska elektroprivreda d.d., Zagreb 1998., str. 94

[2] Z. Franić, *Ekvivalentna doza ili dozni ekvivalent?,* Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, vol. 45, No. 1, str. 44, 1944.

[3] *Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja*, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_91_2571.html, 18.6.2017.

[4] A. Zubak, *Štetnost zračenja u mobilnim komunikacijskim sustavima,* ETF, Osijek 2014., str. 7

[5] D. Poljak, *Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja – dozimetrija upadnog kuta,* Sigurnost : časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, Vol.54, No.2, str. 174, srpanj 2012.

[6] K.K. Kesari, J. Behari, *Effect of mobile phone radiation exposure on reproductive system of male rats,* International Conference on recent Advances in Microwave Theory and Applications, 2008., str. 564-567

[7] L. Juričev-Sudac, *Mjerenje izloženosti EM zračenju s DVB-T odašiljača,* IEEE, 2013., str. 2

[8] *Interaktivna karta elektromagnetskog zračenja u Hrvatskoj*, http://maps.huzez.hr/, 20.6.2017.

[9] *Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja,* Narodne novine, 146/2014

[10] A. Radonjić, *Mobilna telefonija treće generacije,* Raška 2003., str. 17

[11] *Bazne stanice mobilne telefonije*, http://www.foti.co.rs/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=92, 20.6.2017.

[12] J. Bartolić, *Daljinska istraživanja i radiometrija*, FER, Zagreb 2011.

[13] *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas*, IEEE Transactions on Antennas nad Propagation, svibanj 1969, str.252-259 i siječanj 1974.

[13] *Uloga inferencijalne statistike u poboljšanju proizvodnih procesa*, http://repozitorij.fsb.hr/2210/1/22_02_2013_Zavrsni_rad_Nikola_Grubesic.pdf, 22.8.2017.

[14] *Hrvatska norma HRN EN 50383:2012*., drugo izdanje, veljača 2012.

[15] S. Rupčić, *Određivanje pozicije najveće izloženosti pri mjerenju jakosti električnog polja u današnjim komunikacijskim sustavima,* Hrvatska komora inženjera elektrotehnike, 2016., str. 165

[16] *Dipole Antenna*, http://www.flytron.com/antennas-filters/100-fine-tuned-dipole-antenna.html, 22.8.2017.

[17] *Komunikacijski sustavi*, https://www.slidedoc.us/komunikacijski-sustavi, 22.8.2017.

[18] *Antenna Radiation Pattern*, http://www.raymaps.com/index.php/antenna-radiation-pattern-and-antenna-tilt/antenna_rotated/, 4.9.2017.

SAŽETAK

Razvojem radijske komunikacijske tehnologije došlo je do značajnog porasta broja izvora zračenja. U radu su dane teorijske osnove za izračun jakosti električnog polja u okolini baznih postaja mobilnih sustava te pregled normi i pravilnika koji se primjenjuju u zaštiti ljudi od neionizirajućih zračenja. Za izračun jakosti električnog i magnetskog polja u bliskom reaktivnom i radijacijskom polju te u dalekom polju napravljen je program u programskom paketu Matlab uz korištenje Antenna Toolbox. Program omogućava izbor parametara odašiljača i antene, te udaljenosti mjesta za koje se računa jakost polja. Osim prikaza numeričkih rezultata, program ima mogućnost 2D i 3D prikaza izračunatih vrijednosti jakosti polja.

KLJUČNE RIJEČI: zračenje, bazne postaje, antene, utjecaj na zdravlje

DEFINING CRITICAL POINTS AROUND BASE STATIONS FROM SAFETY ASPECTS OF NON-IONISING RADIATION

ABSTRACT

With radio communication development, there has been an increase in number of radiation sources. In this thesis, there have been given theoretical basis for calculation of electrical field near base stations and preview of norms and regulations that are applied to protect people from non-ionizing radiation. Program for calculation of electric and magnetic field in near radiative, near reactive and far field was made with Matlab software, using Antenna Toolbox. It provides selection of transmitter and antenna parameters and the distance of the site to which the field strength is calculated. Besides displaying numerical results, there are possibilities of displaying 2D and 3D values of calculated field strength.

KEY WORDS: radiation, base station, antenna, health impact

ŽIVOTOPIS

Antonela Zubak rođena je u Slavonskom Brodu 30.3.1993. Nakon završetka osnovne i osnovne glazbene škole upisuje se u opću gimnaziju Marka Marulića u Slatini. Istu je završila odličnim uspjehom te time stekla pravo na izravan upis na Elektrotehnički fakultet u Osijeku na kojem se opredijelila za smjer Komunikacije i informatika. 2014. godine stječe zvanje prvostupnice elektrotehnike te iste godine upisuje Diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, gdje studira do danas.

Potpis:

_____

PRILOG

Prilozi koji se nalaze na CD-u

- Pisani rad u pdf i doc formatu
- Tablica zračenja Kathrein 742215 antene
- Tehnički podaci Kathrein 742215 antene u pdf-u

Prilog 1.

Glavni program:

```
function varargout = zubak(varargin)
%ZUBAK MATLAB code file for zubak.fig
%      ZUBAK, by itself, creates a new ZUBAK or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = ZUBAK returns the handle to a new ZUBAK or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%      ZUBAK('Property','Value',...) creates a new ZUBAK using the
%      given property value pairs. Unrecognized properties are passed via
%      varargin to zubak_OpeningFcn.  This calling syntax produces a
%      warning when there is an existing singleton*.
%
%      ZUBAK('CALLBACK') and ZUBAK('CALLBACK',hObject,...) call the
%      local function named CALLBACK in ZUBAK.M with the given input
%      arguments.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help zubak

% Last Modified by GUIDE v2.5 02-Oct-2017 18:34:39

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @zubak_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @zubak_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [], ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
   gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before zubak is made visible.
function zubak_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   unrecognized PropertyName/PropertyValue pairs from the
%            command line (see VARARGIN)
```

```
% Choose default command line output for zubak

handles.output = hObject;



% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes zubak wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);


% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = zubak_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;



function valna_duljina_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to valna_duljina (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of valna_duljina as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of valna_duljina
as a double


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function valna_duljina_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to valna_duljina (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function reaktivno_polje_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to reaktivno_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of reaktivno_polje as text
%                    str2double(get(hObject,'String'))   returns   contents   of
reaktivno_polje as a double
```

```
D = str2double(get(handles.duljina_antene,'String'));
f = str2double(get(handles.freq,'String'));
c = 299792458;
lambda = c/f;
lamba = round(lambda,4,'significant')
r = 0.62*(sqrt(D.^3/lambda))
r = round(r,4,'significant')
set( hObject,'String',num2str(r) )
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function reaktivno_polje_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to reaktivno_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function radijacijsko_polje_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radijacijsko_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of radijacijsko_polje as text
%                  str2double(get(hObject,'String'))   returns   contents   of
radijacijsko_polje as a double
D = str2double(get(handles.duljina_antene,'String'));
f = str2double(get(handles.freq,'String'));
c = 299792458;
lambda = c/f;
r = (2*D.^2)/lambda
r = round(r,4,'significant')
set( hObject,'String',num2str(r) )

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function radijacijsko_polje_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radijacijsko_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function daleko_polje_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to daleko_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of daleko_polje as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns contents of daleko_polje
as a double
D = str2double(get(handles.duljina_antene,'String'));
f = str2double(get(handles.freq,'String'));
c = 299792458;
lambda = c/f;
Rg = (2*D.^2)/lambda
Rg = round(Rg,4,'significant')
set( hObject,'String',num2str(Rg) )

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function daleko_polje_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to daleko_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function duljina_antene_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to duljina_antene (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of duljina_antene as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of duljina_antene
as a double
D = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(D)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end



% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function duljina_antene_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to duljina_antene (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function freq_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to freq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of freq as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents of freq as a
double
f = str2double(get(hObject,'string'));
if isnan(f)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end
c = 299792458
lambda = c/f
lambda = round(lambda,4,'significant')
set( handles.valna_duljina,'String',num2str(lambda) );


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function freq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to freq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


% --- Executes on selection change in antena.
function antena_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to antena (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns antena contents as
cell array
%        contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from antena


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function antena_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to antena (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end


% --- Executes on button press in dipol.
function dipol_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dipol (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
figure;
run('dipol.m');


% --- Executes on button press in monopol.
function monopol_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to monopol (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure;
run('monopol.m');


% --- Executes on button press in yagi.
function yagi_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to yagi (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure;
run('yagi.m');


% --- Executes on button press in helikoidna.
function helikoidna_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to helikoidna (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure;
run('helikoidna.m');


% --- Executes on button press in kontakt.
function kontakt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to kontakt (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
msgbox('azubak@etfos.hr','Email');



function tok_snage_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tok_snage (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of tok_snage as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of tok_snage as a
double
P = str2double(get(handles.snaga,'String'));
G = str2double(get(handles.dobitak,'String'));
u = str2double(get(handles.r,'String'));
PT = P/G
S = (PT*G)/(4*pi*u.^2)
S = round(S,4,'significant')

set( hObject,'String',num2str(S) )
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function tok_snage_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tok_snage (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function el_polje_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to el_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of el_polje as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of el_polje as a
double
P = str2double(get(handles.snaga,'String'));
G = str2double(get(handles.dobitak,'String'));
u = str2double(get(handles.r,'String'));
N = str2double(get(handles.kanali,'String'));
LdB = str2double (get(handles.prigusenje,'String'));
GdB = str2double (get(handles.reldobici,'String'));
PT = P/G
Pt = 10*log10(PT)
Gt = 10*log10(G)
Peirp = Pt+Gt-LdB-GdB
PW = 10.^(Peirp/10)
E = 2*(sqrt(30*N*PW))/u
E = round(E,4,'significant')
set( hObject,'String',num2str(E) )


% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function el_polje_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to el_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function mag_polje_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mag_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of mag_polje as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of mag_polje as a
double
E = str2double(get(handles.el_polje,'String'));
H = E/(120*pi)
H = round(H,4,'significant')

set( hObject,'String',num2str(H) )

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function mag_polje_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to mag_polje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function snaga_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to snaga (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of snaga as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns contents of snaga as a
double

P = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(P)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function snaga_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to snaga (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function dobitak_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dobitak (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dobitak as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dobitak as a
double
G = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(G)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dobitak_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dobitak (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function r_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to r (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of r as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of r as a double
u = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(u)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function r_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to r (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function kanali_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to kanali (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of kanali as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of kanali as a
double
```

```
N = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(N)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function kanali_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to kanali (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if           ispc           &&           isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



% --- Executes on button press in proizvolj.
function proizvolj_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to proizvolj (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure;
run('proizvoljna.m');


% --- Executes on button press in Kathrein.
function Kathrein_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Kathrein (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure;
run('Antena742_215.m');



function prigusenje_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to prigusenje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of prigusenje as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of prigusenje as
a double

LdB = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(LdB)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function prigusenje_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to prigusenje (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end



function reldobici_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to reldobici (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of reldobici as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of reldobici as a
double
GdB = str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(GdB)
    errordlg('Unesite numericku vrijednost!','Krivi unos','modal')
end
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function reldobici_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to reldobici (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if          ispc          &&          isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

Dipol:

```
prompt = {'Unesite frekvenciju [Hz]:','Unesite visinu antene od tla [m]:',
'Unesite visinu objekta [m]:','Unesite udaljenost od izvora zračenja
[m]:','Unesite tilt [°]:'};
dlg_title = 'Unos podataka';
num_lines = 1;
defaultans = {'925000000','30','0','20','0'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,defaultans);
f0 = str2num(answer{1});
z = str2num(answer{2});
hm = str2num(answer{3});
w = str2num(answer{4});
kut = str2num(answer{5});

b = sqrt((z-hm)^2+w^2)
kutpomaka = atan(((z-hm)/w)*(180/3.14))-kut

i    =    dipole('Width',0.000324324,'Length',0.154594,    'FeedOffset',0.00077,
'Tilt',kut);

show(i);
pattern(i, 925000000);
figure;

patternAzimuth(i, f0, [0 60 90 180 ]);
```

```
figure;
patternElevation(i,f0, [0 90]);
figure;
current(i,f0);



%%
z = 15;
x = (-250:4:250)*1e3;
y = (-100:4:400)*1e3;

[X,Y]       = meshgrid(x,y);
TotalPoints = length(x)*length(y);
Points      = zeros(3,TotalPoints);
for m=1:size(X,2)
    index1 = size(X,1)*(m-1);
    index2 = size(X,1)*m;
    Points(:,index1+1:index2) = [X(:,m).'; Y(:,m).'; z*ones(size(X(:,m).'))];
end
E = EHfields(i, f0, Points);

Emag = zeros(1,TotalPoints);
r    = zeros(1,TotalPoints);
for m=1:TotalPoints
    Emag(m) = norm(E(:,m));
    r(m)    = norm(Points(:,m));
end
Emag  = 20*log10(reshape(Emag,length(y),length(x)));
r     = reshape(r,length(y),length(x));
d_min = min(Emag(:));
d_max = max(Emag(:));
del   = (d_max-d_min)/12;
d_vec = round((d_min:del:d_max));

figure;
contourf(X*1e-3,Y*1e-3,Emag,d_vec,'showtext','on');
title('Snaga zračenja [dB] na površini Zemlje');
xlabel('lateral (km)');
ylabel('boresight (km)');
c = colorbar;
set(get(c,'title'),'string','dB');
%%
lat0 =  45.332193;
lon0 = 18.431488;
h0 = 0;
az = -150;
%%
xyrot = wrapTo180(az - 90);

levelList = d_vec(2:end);
[contourLines, contourPolygons] = geocontourxy( ...
    X,Y,Emag,lat0,lon0,h0,'LevelList',levelList,'XYRotation',xyrot);

%% Prikaz na karti
[latlim, lonlim] = geoquadline( ...
    contourPolygons.Latitude, contourPolygons.Longitude);

latlim = latlim + [-1 1];
lonlim = lonlim + [-1 1];
```

```
states = shaperead('usastatelo.shp', ...
    'BoundingBox',[lonlim' latlim'],'UseGeoCoords',true);

figure
usamap(latlim, lonlim)
geoshow(states,'FaceColor',[0.8 0.8 0.8])

%Konture
minLevel = contourLines(1).ContourLevel;
maxLevel = contourLines(end).ContourLevel;
lineStyle = makesymbolspec('Line', ...
    {'ContourLevel',[minLevel maxLevel],'Color',parula});

h = geoshow(contourLines,'SymbolSpec',lineStyle);

% Postavljanje markera na kartu
p = geopoint(lat0,lon0);
p.Description = 'System Location';
geoshow(p,'Marker','d','MarkerSize',10,'LineWidth',2, ...
    'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','g')

% Legenda i naslov
c = h.Children;
for k = 1:length(c)
    c(k).DisplayName = num2str(contourLines(k).ContourLevel);
end
l = legend(c, 'Location', 'BestOutside');
l.Title.String = 'Emag (dB)';
title('Contours Projected on Map')

  webmap('world topographic map')
  cmap = parula(length(contourLines));
  wmline(contourLines,'Overlayname','Antenna Power 1', ...
      'FeatureName','Antenna Contours',  ...
      'Description','Antenna Contour','Color',cmap)
  wmmarker(p,'Description','System Location','Overlayname','System Location')
%

% Prikaz web karte

  cmap = parula(length(contourPolygons));
  wmpolygon(contourPolygons,'Overlayname','Antenna Power 1', ...
      'FeatureName','Antenna Contour Polygons',  ...
      'Description','Antenna Contour Polygon', ...
      'FaceColor',cmap,'FaceAlpha',0.3);
  wmmarker(p,'Description','System Location','Overlayname','System Location')
%
```

Monopol:

```
prompt = {'Unesite frekvenciju [Hz]:','Unesite visinu antene od tla [m]:',
'Unesite visinu objekta [m]:','Unesite udaljenost od izvora zračenja
[m]:','Unesite tilt [°]:'};
dlg_title = 'Unos podataka';
num_lines = 1;
defaultans = {'75000000','30','0','2','0'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,defaultans);
```

```
f0 = str2num(answer{1});
z = str2num(answer{2});
hm = str2num(answer{3});
w = str2num(answer{4});
kut = str2num(answer{5});


ant = monopole('GroundPlaneLength',2.5,'GroundPlaneWidth',2.5);
ant = monopole('Tilt', -90); % okrenuti antenu za 90 da bude u ravnini sa
Zemljom
show(ant);
view(-220, 30) %odabrati kut azimuta i kut elevacije


pattern(ant, f0);
figure;
rotate3d on;

patternAzimuth(ant, f0, [0 60 90 180 ]);
figure;
patternElevation(ant,f0, [0 90]);
figure;

current(ant,f0);
figure;

% %usmjerenost u pravokutnom koordinatnom susavu
% pattern(ant, f0, 'CoordinateSystem', 'rectangular');
%
% %2D prikaz dijagrama zračenja
% figure;
% pattern(ant,f0,0,0:1:359);
```

Yagi:

```
prompt = {'Unesite frekvenciju [Hz]:','Unesite visinu antene od tla [m]:',
'Unesite visinu objekta [m]:','Unesite udaljenost od izvora zračenja
[m]:','Unesite tilt [°]:'};
dlg_title = 'Unos podataka';
num_lines = 1;
defaultans = {'300000000','15','8','2','0'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,defaultans);
f0 = str2num(answer{1});
z = str2num(answer{2});
hm = str2num(answer{3});
w = str2num(answer{4});
kut = str2num(answer{5});


%postavke yagi antene
wirediameter = 19e-3;
c = physconst('lightspeed');
lambda = c/f0;
d = dipoleFolded;
d.Length = lambda/2; % 0.3\lambda, 0.25\lambda
d.Width = cylinder2strip(wirediameter/2);
d.Spacing = d.Length/60;
Numdirs = 4; %broj direktora antene
```

```
refLength = 0.5;
dirLength = 0.5*ones(1,Numdirs);
refSpacing = 0.3;
dirSpacing = 0.25*ones(1,Numdirs);
initialdesign = [dirLength refSpacing dirSpacing].*lambda;

yagidesign = yagiUda;

ant   = yagiUda('Tilt', kut); % okrenuti antenu za 90 da bude u ravnini sa
Zemljom
show(ant);
view(-220, 30) %odabati kut azimuta i kut elevacije

pattern(ant, f0);
figure;
rotate3d on;



patternAzimuth(ant, f0, [0 60 90 180 ]);
figure;
patternElevation(ant,f0, [0 90]);
figure;

current(ant,f0);
figure;

% %usmjerenost u pravokutnom koordinatnom susavu
% pattern(ant, f0, 'CoordinateSystem', 'rectangular');
%
% %2D prikaz dijagrama zračenja
% figure;
% pattern(ant,f0,0,0:1:359);
```

Helikoidna:

```
prompt = {'Unesite frekvenciju [Hz]:','Unesite visinu antene od tla [m]:',
'Unesite visinu objekta [m]:','Unesite udaljenost od izvora zračenja
[m]:','Unesite tilt [°]:'};
dlg_title = 'Unos podataka';
num_lines = 1;
defaultans = {'2100000000','30','0','200','0'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,defaultans);
f0 = str2num(answer{1});
z = str2num(answer{2});
hm = str2num(answer{3});
w = str2num(answer{4});
kut = str2num(answer{5});

%Postavke helikoidne antene
ant = helix('Radius',28e-3,'Width',1.2e-3,'Turns',4, 'Tilt', kut);
ant   = helix('Tilt', -90); % okrenuti antenu za 90 da bude u ravnini sa
Zemljom
show(ant);
view(-220, 30) %kut azimuta i kut elevacije

pattern(ant, f0);
figure;
rotate3d on;
```

```
patternAzimuth(ant, f0, [0 60 90 180 ]);
figure;
patternElevation(ant,f0, [0 90]);
figure;

current(ant,f0);
figure;

%usmjerenost u pravokutnom koordinatnom susavu
pattern(ant, f0, 'CoordinateSystem', 'rectangular');

% %2D prikaz dijagrama zračenja
% figure;
% pattern(ant,f0,0,0:1:359);
```

Proizvoljna 3D:

```
%učitavanje csv datoteke
P = csvread('proizvoljna.csv',1,0);

prompt = {'Unesite frekvenciju [Hz]:','Unesite visinu antene od tla [m]:',
'Unesite visinu objekta [m]:','Unesite udaljenost od izvora zračenja
[m]:','Unesite tilt[°]:'};
dlg_title = 'Unos podataka';
num_lines = 1;
defaultans = {'925000000','15','8','2','0'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,defaultans);
f0 = str2num(answer{1});
z = str2num(answer{2});
hm = str2num(answer{3});
w = str2num(answer{4});
kut = str2num(answer{5});


%3D prikaz dijagrama zračenja u polarnom koordinatnom sustavu
patternCustom(P(:,3),P(:,2),P(:,1))
view(65, 6.2)
figure;


%3D prikaz dijagrama zračenja u kartezijevom koordinatnom sustavu
patternCustom(P(:,3),P(:,2),P(:,1),'CoordinateSystem','rectangular')

figure;

%2D prikaz isječka 3D dijagrama zračenja u polarnom koordinatnom sustavu
patternCustom(P(:,3),P(:,2),P(:,1),'CoordinateSystem','polar','Slice',  ...
    'phi','SliceValue',[45 90 180 360])

figure

% %2D prikaz isječka 3D dijagrama zračenja u kartezijevom koordinatnom
% %sustavu
% patternCustom(P(:,3),P(:,2),P(:,1),'CoordinateSystem','rectangular',    ...
%     'Slice','phi','SliceValue',[45 90 180 360])
%
% figure
```

```
%2D prikaz dijagrama zračenja
load polardata

p = polarpattern(ang, D);
```

Proizvoljna 2D:

```
prompt = {'Unesite frekvenciju [Hz]:','Unesite visinu antene od tla [m]:',
'Unesite visinu objekta [m]:','Unesite udaljenost od izvora zračenja
[m]:','Unesite tilt [°]:'};
dlg_title = 'Unos podataka';
num_lines = 1;
defaultans = {'2100000000','30','0','200','0'};
answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,defaultans);
f0 = str2num(answer{1});
z = str2num(answer{2});
hm = str2num(answer{3});
w = str2num(answer{4});
kut = str2num(answer{5});

load('antena.mat','Stupnjevi','Horizontal','Vertical','Dobitak1','Duljina1')
G = (Dobitak1)
l = (Duljina1)
theta = deg2rad(Stupnjevi) %pretvorba stupnjeva u radijane
kut1 = deg2rad(kut)

polarplot(theta-kut1, Horizontal)
rlim([min(Horizontal)-3 max(Horizontal)+1])

figure;

polarplot(theta-kut1,Vertical)
rlim([min(Vertical)-3 max(Vertical)+1])
```

Prilog 2.

2-Port Antenna 1710–2200 65° 18dBi 0°–10°T

Type No.		742215V01	
Highband		B1	
		1710–2200	
Frequency Range	MHz	1710 – 1880	1920 – 2200
Gain at mid Tilt	dBi	17.5	18.2
Gain over all Tilts	dBi	17.5 ± 0.4	18.1 ± 0.3
Horizontal Pattern:			
Azimuth Beamwidth	°	68 ± 2.0	63 ± 3.4
Front-to-Back Ratio, Total Power, ± 30°	dB	> 26	> 25
Cross Polar Discrimination at Boresight	dB	> 25	> 28
Cross Polar Discrimination over Sector	dB	> 13.0	> 10.5
Azimuth Beam Squint	°	0.5 ± 1.5	0.5 ± 1.2
Azimuth Beam Port-to-Port Tracking	dB	< 1.0	< 1.0
Vertical Pattern:			
Elevation Beamwidth	°	7.1 ± 0.3	6.4 ± 0.4
Electrical Downtilt continuously adjustable	°	0.0 – 10.0	
Tilt Accuracy	°	< 0.2	< 0.2
First Upper Side Lobe Suppression	dB	> 21	> 20
Cross Polar Isolation	dB	> 30	
Max. Effective Power per Port	W	250 (at 50 °C ambient temperature)	

Values based on NGMN-P-BASTA (version 9.6) requirements.

ation.

2-Port Antenna

KATHREIN

Electrical specifications, all systems		
Impedance	Ω	50
VSWR		< 1.5
Return Loss	dB	> 14
Interband Isolation	dB	> 30
Passive Intermodulation	dBc	< –150 (2 x 43 dBm carrier)
Polarization	°	+45, –45
Max. Effective Power for the Antenna	W	500 (at 50 °C ambient temperature)

Values based on NGMN-P-BASTA (version 9.6) requirements.

Mechanical specifications		
Input		2 x 7-16 female
Connector Position		bottom
Adjustment Mechanism		1x, Position bottom continuously adjustable
Wind load (at Rated Wind Speed: 150 km/h)	N | lbf	Frontal: 225 | 51 Maximal: 250 | 56
Max. Wind Velocity	km/h mph	200 124
Height / Width / Depth	mm inches	1314 / 155 / 70 51.7 / 6.1 / 2.8
Category of Mounting Hardware		L (Light)
Weight	kg lb	6.5 / 8.7 (clamps incl.) 14.3 / 19.2 (clamps incl.)
Packing Size	mm inches	1595 / 172 / 92 62.8 / 6.8 / 3.6
Scope of Supply		Panel and 2 units of clamps for 42–115 mm | 1.7–4.5 inches diameter

Accessories (order separately if required)

Type No.	Description	Remarks mm | inches	Weight approx. kg | lb	Units per antenna
731651	1 clamp	Mast diameter: 28 – 60 | 1.1 – 2.4	0.8 | 1.8	2
85010002	1 clamp	Mast diameter: 110 – 220 | 4.3 – 8.7	2.7 | 6.0	2
85010003	1 clamp	Mast diameter: 210 – 380 | 8.3 – 15.0	4.8 | 10.6	2
732327	1 downtilt kit	Downtilt angle: 0° – 10°	1.0 | 2.2	1

Accessories (included in the scope of supply)

738546	1 clamp	Mast diameter: 42 – 115 | 1.7 – 4.5	1.1 | 2.4	2

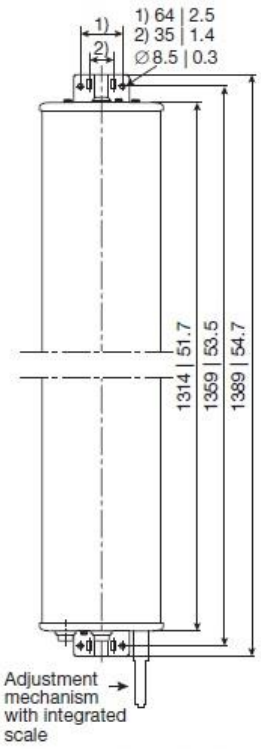
For downtilt mounting use the clamps for an appropriate mast diameter together with the downtilt kit.
Wall mounting: No additional mounting kit needed.

Material:

Reflector screen: Aluminum. **Radiator:** Tin-plated zinc.
Flat fiberglass radome: The max. radome depth is only 70 mm | 2.8 inches. Fiberglass material guarantees optimum performance with regards to stability, stiffness, UV resistance and painting. The color of the radome is grey.
All screws and nuts: Stainless steel.

Grounding:

The metal parts of the antenna including the mounting kit and the inner conductors are DC grounded.



All dimensions in mm | inches