

# Proračun jakosti električnog polja u dalekom polju radio-frekvencijskog zračenja

---

**Kuprešak, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni 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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:566617>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA U  
DALEKOM POLJU RADIO-FREKVENCIJSKOG  
ZRAČENJA**

**Završni rad**

**Marko Kuprešak**

**Osijek, 2017.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 07.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Marko Kuprešak
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	3930, 18.07.2014.
<b>OIB studenta:</b>	26447340052
<b>Mentor:</b>	Prof.dr.sc. Snježana Rimac-Drlje
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Proračun jakosti električnog polja u dalekom polju radio-frekvencijskog zračenja
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	07.09.2017.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	15.09.2017.
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, 17.09.2017.

**Ime i prezime studenta:**

Marko Kuprešak

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

3930, 18.07.2014.

**Ephorus podudaranje [%]:**

0%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Proračun jakosti električnog polja u dalekom polju radio-frekvencijskog 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 završnog rada .....	2
2. TEORIJSKE OSNOVE POTREBNE ZA IZRAČUN POLJA .....	3
2.1. Prostiranje vala u slobodnom prostoru .....	3
2.2. Blisko i daleko polje .....	4
2.3. Modeli za računanje električnog polja .....	5
2.4. Određivanje dobitka antene u određenom smjeru iz dijagrama zračenja .....	7
3. GEOMETRIJSKI PRORAČUNI KORIŠTENI U RADU .....	9
3.1. Izračun udaljenosti između antene i prijemnika pomoću Gauss-Krügerovog koordinatnog sustava .....	9
3.2. Izračun korigirane udaljenosti i elevacijskog kuta između antene i prijemnika .....	10
3.3. Izračun azimuta između antene i ispitnog mjesta .....	11
4. APLIKACIJA ZA PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA .....	12
4.1. Izrada GUI-a .....	12
4.2. Programski dio zadatka .....	15
5. PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA I GUSTOĆE SNAGE ZA GSM I LTE SUSTAVE .....	19
5.1. Proračun električnog polja i gustoće snage za GSM sustave .....	20
5.2. Proračun električnog polja i gustoće snage za LTE sustave .....	25
5.3. Usporedba dva odašiljačka sustava .....	26
6. ZAKLJUČAK .....	29
7. LITERATURA .....	31
SAŽETAK .....	32
ŽIVOTOPIS .....	34
PRILOG .....	35

## 1. UVOD

Povećanje brzine prijenosa podataka u mrežama i uvođenje novih usluga kao što je digitalna zemaljska fiksna i mobilna televizija, uzrokovali su s jedne strane povećanje broja mobilnih korisnika, a s druge strane povećanje broja odašiljača kako bi se osigurala dobra pokrivenost nekog područja signalom. Zbog ograničenog broja frekvencijskih pojaseva teleoperateri moraju što bolje iskoristiti svaku zakupljenu frekvenciju za pokrivenost određenog područja signalom. Stoga je, prije postavljanja antenskog sustava, potrebno ispitati da li se s predviđenim sustavom osigurava pokrivanje nekog područja dovoljnom jakosti signala potrebnom za osiguranje predviđene kvalitete usluge. Prije postavljanja antenskog sustava vrše se proračuni i simulacije u programima koji na temelju podataka o terenu i izgrađenim objektima, primjenom određenih modela rasprostiranja (propagacije) radio vala daju procjenu jakosti električnog polja u području pokrivanja signalom. Bitno je naglasiti da se zbog konstantnog napretka u tehnologiji mobilni sustavi moraju često unaprjeđivati, no zbog velikog područja koje oni pokrivaju i cijene novih sustava važno je utvrditi područja koja imaju veći prioritet (urbana područja), a koja manji, kako bi se što efikasnije koristili zakupljeni frekvencijski pojasevi, dostavilo što kvalitetniju i bržu mrežu korisnicima te, u konačnici, maksimizirali financijski dobiti.

U ovom završnom radu primijenjen je model prostiranja radio vala u slobodnom prostoru, te su dane teorijske osnove za proračun jakosti električnog polja i gustoće zračenja u dalekom polju zračenja te se na temelju toga vrše proračuni i usporedbe antenskih sustava. U okviru rada izrađena je aplikacija u programskom paketu Matlab za proračun jakosti električnog polja i gustoće snage za proizvoljnu odašiljačku antenu, na zadanoj udaljenosti i uz zadane parametre odašiljačkog sustava. Primjenom ovog programa napravljeni su proračuni za 6 mjernih mjesta, za GSM i LTE sustav uz primjenu različitih antena. Na temelju rezultata proračuna napravljena je usporedba antenskih sustava.

Nakon uvoda, u drugom je poglavlju dana teorijska osnova za proračun jakosti električnog polja. U trećem poglavlju je predstavljen Gauss-Krügerov koordinatni sustav, geometrijski proračuni korišteni pri izračunu udaljenosti, elevacijskih i azimutnih kutova. Četvrto poglavlje opisuje kako se izrađuje sama aplikacija za proračune električnog polja i gustoće zračenja. U petom poglavlju je opisan postupak računanja električnog polja i gustoće zračenja. U njemu se također nalaze i tablice sa rezultatima proračuna za dva odašiljačka sustava, te njihova usporedba.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

U ovom radu je potrebno obraditi teorijsku osnovu za proračun jakosti električnog polja , te na temelju obrađene teorije proračunati jakosti električnog polja i gustoće zračenja na nekoliko odabranih ispitnih mjesta za nekoliko odabranih antena različitih frekvencija i dijagrama zračenja. Pomoću dobivenih rezultata i teorijske osnove potrebno je međusobno usporediti odašiljačke sustave.

## 2. TEORIJSKE OSNOVE POTREBNE ZA IZRAČUN POLJA

Kada se anteni dovodi energija ona u prostor emitira elektromagnetske valove odnosno radiovalove. Na nekoj udaljenosti  $d$  od antene moguće je izračunati jakost električnog polja ukoliko je poznata snaga koja je dovedena na stezaljke antene, dobitak te udaljenost na kojoj se mjeri jakost polja. Radiovalovi se šire radijalno od antene i ovisno o prostoru između odašiljačke i prijemne antene (objektima koji postoje na putanji vala) može se pojaviti refleksija, difrakcija, refrakcija, disperzija ili apsorpcija. Za proračun jakosti električnog ( magnetskog) polja na ispitnom mjestu koriste se različiti modeli prostiranja vala. Jedan od osnovnih modela je prostiranje vala u slobodnom prostoru koji se koristi u ovom radu.

### 2.1. Prostiranje vala u slobodnom prostoru

Prostiranje vala u slobodnom prostoru može se predočiti kao prostiranje vala između dvije antene koje su udaljene od okolnih objekata tako da nema smetnji propagaciji vala.

Uvjeti prostiranja vala u slobodnom prostoru su:

1. Radiooptička vidljivost
2. Slobodna 1. Fresnelova zona (Prva Fresnelova zona obuhvaća prostor unutar kojeg se putanje dijelova radio vala ne razlikuju za više od  $\lambda/2$  u odnosu na direktnu zraku, a ona je slobodna ukoliko prepreka na zadire u više od 40% radijusa 1. Fresnelove zone na tom mjestu.)

Snaga privedena odašiljačkoj anteni je  $P_o$  (odaslana snaga), a na stezaljkama prijemne antene (na udaljenosti  $d$ ) se javlja  $P_r$  (primljena snaga),  $G_t$  i  $G_r$  su dobici odašiljačke i prijemne antene, a  $D_t$  i  $D_r$  usmjerenost odašiljačke i prijemne antene.

$P_t$  je izračena snaga i manja je od snage odašiljača za snagu gubitaka pa slijedi:  $P_t = \eta_1 * P_o$ .  $P_a$  je snaga na stezaljkama prijemne antene pa slijedi  $P_a = \eta_2 * P_r$ , gdje su  $\eta_1$  i  $\eta_2$  faktori iskorištenja odašiljačke i prijemne antene.

Snaga na prijemnoj anteni se računa pomoću formule:

$$Pr(d) = Pt * \left(\frac{\lambda}{4*\pi*d}\right)^2 * Gt * Gr \quad (2- 1)$$

Snaga na stezaljkama prijemne antene ovisi o snazi odašiljača, opada s kvadratom udaljenosti između antena i pada s kvadratom frekvencije, te je proporcionalna dobicima obje antene. Gubici u antenama su uzeti u obzir preko koeficijenata iskorištenja antena ( $\eta_1$  i  $\eta_2$ ), [1].



Gubici slobodnog prostora se računaju kao omjer snage na odašiljačkoj anteni i snage na stezaljkama prijemne antene.

$$A_{fs} = \frac{P_o}{P_a} \quad (2-2)$$

Gubici slobodnog prostora nastaju jer se val širi radijalno pa je snaga, a samim time i gustoća snage izmjerena na nekoj udaljenosti  $d_1$  manja nego gustoća snage na udaljenosti  $d_2$  ako vrijedi  $d_1 > d_2$ , prema formuli (2-1), [1].

## 2.2. Blisko i daleko polje

Karakteristike elektromagnetskog polja ovise o udaljenosti od antene, a razlikuju se blisko i daleko polje. U tablici 2.1 dane su granice udaljenosti za blisko i daleko polje kako je definirano u normi HRN EN 50583:2010, [2].

Tablica 2.1 Granice bliskog i dalekog polja, Prema [2, str.43]

Regija	Blisko polje	Daleko polje
<p>Granice polja određene udaljenošću od antene</p> <p><math>\lambda</math> – valna duljina zračenja antene</p> <p><math>D</math> – dimenzije antene</p>	<p>Od 0 do <math>\left( \frac{\lambda}{\frac{D}{4\lambda}} \right)</math></p>	<p>Od <math>\left( \frac{5\lambda}{\frac{5D}{0.6D^2}} \right)</math> do <math>\infty</math></p>
$E \perp H$	NE	DA
$Z = E/H$	$\neq Z_c$	$= Z_c$

Uz gore navedene granice, za blisko polje, u tablici (2.1) može se vidjeti da električno i magnetsko polje nisu okomiti jedno na drugo, a prilikom mjerenja potrebno je posebno mjeriti magnetsko a posebno električno polje. U području bliskog polja nalaze se radijacijsko i induktivno polje. U području induktivnog polja energija titra između izvora zračenja i okolnog prostora, a kod radijacijskog polja energija se propagira od antene ali još nema karakteristike ravnog vala, [3].

Kod dalekog polja električno i magnetsko polje su okomiti jedno na drugo, a oba su okomita na smjer širenja vala, ne moraju se mjeriti obje komponente, ukoliko se zna vrijednost jedne, iz omjera  $E/H = Z_c$  može se izračunati vrijednost druge. Impedancija  $Z_c$  je impedancija

slobodnog prostora i iznosi  $120\pi \Omega$ . Za zaključiti je da svojstva elektromagnetskog vala ovise o udaljenosti od izvora, [2, str.43].

### 2.3. Modeli za računanje električnog polja

#### Sferni model

Sferni model se koristi za izračun električnog polja u dalekom polju radio-frekvencijskog zračenja. Ukoliko se ovaj model koristi za računanje polja u bliskom polju RF zračenja, dobivena jakost polja će biti veća nego što jest, [2].

$P_t$  je snaga koju zrači antena i manja je od snage privedene anteni za snagu gubitaka pa slijedi:

$$P_t = \eta * P_o \quad (2-3)$$

$\eta$  je faktor iskorištenja odašiljačke antene  $G_{(\Phi, \theta)} = \eta D_{(\Phi, \theta)}$  (2-4)

gdje su  $\Phi$  i  $\theta$  azimutni i elevacijski kut.

Slijedi:  $P_t * D_{(\Phi, \theta)} = P_o * G_{(\Phi, \theta)}$ . (2-5)

$D$  i  $G$  su usmjerenost i dobitak odašiljačke antene.

Na nekoj udaljenosti  $d$  od odašiljačke antene u smjeru  $(\Phi, \theta)$  može se izračunati gustoća snage (Poyintingov vektor):

$$S_I = \frac{P_t}{4d^2\pi} D_{(\Phi, \theta)} = \frac{P_o}{4d^2\pi} G_{(\Phi, \theta)}, \quad (2-6)$$

kako je veza između gustoće snage i jakosti polja na nekom mjestu :

$$S_I = \frac{E_0^2}{Z_c}, \quad (2-7)$$

iz formula (2-6) i (2-7) slijedi:  $E_0 = \sqrt{\frac{30P_o G_{(\Phi, \theta)}}{d^2}}$  (2-8)

$E_0$  je jakost električnog polja na udaljenosti  $d$  od odašiljačke antene u smjeru maksimalnog zračenja. Jakost magnetskog polja se računa kao:

$$H = \frac{E}{Z_c} \quad (2-9)$$

gdje je  $Z_c$  Impedancija slobodnog prostora, [2, str.44]

## Sintetički model

Sintetički model se može primijeniti za izračun električnog polja u bliskom i u dalekom polju radio-frekvencijskog zračenja, [2, str 44]. Jakost električnog polja u nekoj točki prostora dobije se kao vektorska suma  $n$  manjih dijelova antene gdje se svaki „manji“ dio promatra kao poseban izvor zračenja.

$$E = \sum_n \alpha_n \frac{\sqrt{30P_n G_n}}{d_n} e^{j(\gamma_n + \frac{2\pi d_n}{\lambda})}, \quad (2-10)$$

gdje je :

$P_n$  – snaga koju zrači  $n$ -ti dio antene;

$\gamma_n$  – relativna faza napon na  $n$ -tom dijelu;

$d_n$  – udaljenost između točke promatranja i  $n$ -tog dijela antene;

$G_n$  – dobitak  $n$ -tog dijela antene u smjeru točke promatranja;

$\alpha_n$  – koeficijent važnosti.

Jakost magnetskog polja se računa po formuli (2-9) , ali samo uz uvjet da se točka promatranja nalazi u dalekom polju zračenja.

## Model cilindričnog vala

Model cilindričnog vala za računanje u području bliskog polja RF zračenja, [2, str. 45].

Formule za prosječnu prostornu gustoću snage su:

- za prostiranje zraka u svim smjerovima:

$$\bar{S}(r) = \frac{P_{av}}{2\pi r L \cos^2(\gamma) \sqrt{1 + (\frac{r}{r_0})^2}}, \quad r_0 = \frac{1}{2} D_A L \cos^2(\gamma), \quad (2-11)$$

- za usmjereno prostiranje zraka:

$$\bar{S}(r, \Phi) = \frac{P_{av} * 2^{-\frac{2\Phi}{\Phi_{3dB}}}}{\Phi_{3dB} * r * L \cos^2(\gamma) \sqrt{1 + (\frac{r}{r_0})^2}}, \quad r_0 = \frac{\Phi_{3dB}}{12} D_A L \cos^2(\gamma), \quad (2-12)$$

gdje je:

$P_{av}$  – raspoloživa snaga na anteni;

$L$  – duljina antene u metrima;

$D_A$  – maksimum usmjerenosti antene;

$\Phi_{3dB}$  – Azimutni kut unutar kojeg polje ne pada za više od 3 dB (rad);

$\gamma$  – down – tilt glavnog snopa kojeg antena zrači (rad).

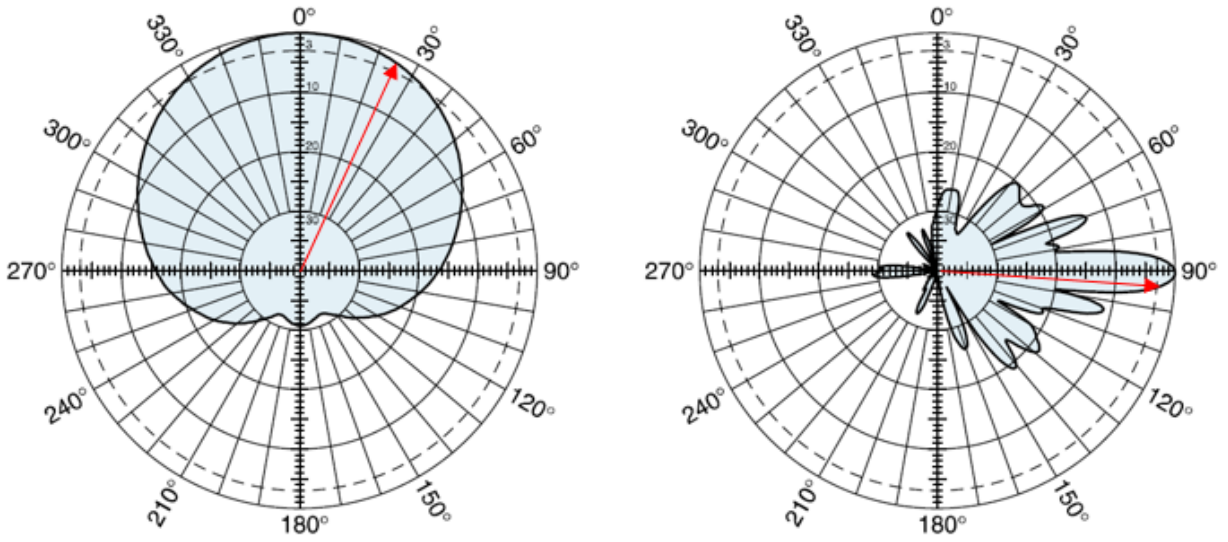
## 2.4. Određivanje dobitka antene u određenom smjeru iz dijagrama zračenja

Dobitak antene predstavlja pojačanje snage koju antena izrači u odnosu na izotropni radijator. Dobitak  $G$  proizvođači antena obično daju za smjer maksimalnog zračenja, izražen u dB, dok se za ostale smjerove dobitak računa pomoću dijagrama zračenja. Dobitak u smjeru maksimalnog zračenja računa se kao omjer gustoće snage u smjeru maksimalnog zračenja  $S_{max}$  i srednje gustoće snage  $S$  na fiksnoj udaljenosti od antene te se množi sa koeficijentom  $\eta$  koji uzima u obzir gubitke u samoj anteni zbog disipacije.

$$G = \eta * (S_{max}/\bar{S}) \quad (2-13)$$

Dobitak antene u određenom smjeru se najčešće očitava iz dijagrama zračenja kojeg izdaje proizvođač antene. Proizvođač daje dijagrame zračenja za dvije komponente električnog polja polarno (vertikalno) i azimutno (horizontalno), te dobitak u smjeru maksimalnog zračenja. Ukupni dobitak antene se aproksimira kao suma dobitaka iz smjera maksimalnog zračenja te dobitaka iz horizontalne i vertikalne ravnine.

Dobitak se iz dijagrama zračenja određuje tako da se odredi kut između točke u prostoru gdje se želi izračunati polje i smjera maksimalnog zračenja antene za horizontalnu (azimutni kut) i vertikalnu ravninu (elevacijski kut). Nakon što se dobiju kutovi potrebno je očitati vrijednosti dobitka u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Primjer određivanja dobitka iz dijagrama zračenja za Kathrein antenu 742-266 dan je na slici 2.1. Dobitak u horizontalnoj ravnini za azimutni kut od  $25^\circ$  sa slike 2.1 je  $-2.5$  dB, a u vertikalnoj, za elevacijski kut od  $92^\circ$  je  $-3$  dB. Kako u radu antena 742-266 radi na frekvenciji od 1830 MHz, iz tehničkih podataka za antenu (Prilog [4]), zadan je dobitak u smjeru maksimalnog zračenja.  $G_{(0^\circ,90^\circ)} = 17.8$  dBi, te slijedi da je ukupni dobitak u smjeru  $(25^\circ, 92^\circ)$  jednak  $G_{(25^\circ,92^\circ)} = G_{(0^\circ,90^\circ)} - 2.5$  dB  $- 3$  dB = 12.3 dBi.

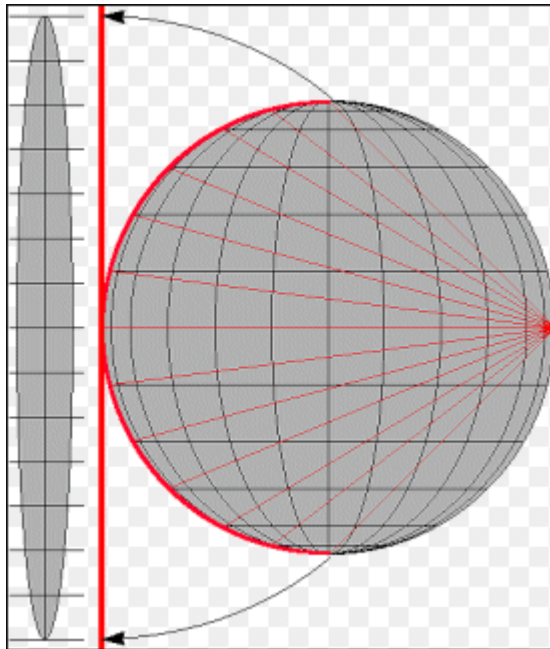


Slika 2.1 Horizontalni(lijevo) i vertikalni (desno) dijagram zračenja za antenu 742-266 [Prilog 4]

### 3. GEOMETRIJSKI PRORAČUNI KORIŠTENI U RADU

#### 3.1. Izračun udaljenosti između antene i prijemnika pomoću Gauss-Krügerovog koordinatnog sustava

Geografski položaj neke točke na zemlji je jednoznačno određen koordinatama. U radu je za izračun udaljenosti između dvije točke s poznatim koordinatama korišten Gauss-Krügerov koordinatni sustav. U tom se sustavu točke elipsoida preslikavaju na plašt valjka, a plašt valjka dodiruje odabrani meridijan i on se naziva središnji meridijan. Što je veća udaljenost od središnjeg meridijana to je veća pogreška, stoga se ova projekcija koristi za relativno uska područja od oko tri stupnja, [4].



Slika 3.1 Merkatova projekcija na kojoj se zasniva Gauss-Krügerov koordinatni sustav, [4]

U Hrvatskoj se koriste dvije zone (peta i šesta) kojima je središnji meridijan petnaesti i osamnaesti meridijan, računajući od nultog meridijana. Svaka zona je široka točno tri stupnja. Koordinate se izražavaju u metrima, u odnosu na promatrani meridijan i to na sljedeći način: Geografska dužina (udaljenost prema istoku) 5766187, gdje prva znamenka označava broj zone a ostale udaljenost od promatranog meridijana u metrima. Na isti način se zadaje i geografska širina, ali se kod nje gleda udaljenost u odnosu na ekvator. Pozitivni smjerovi su istok i sjever, [4].

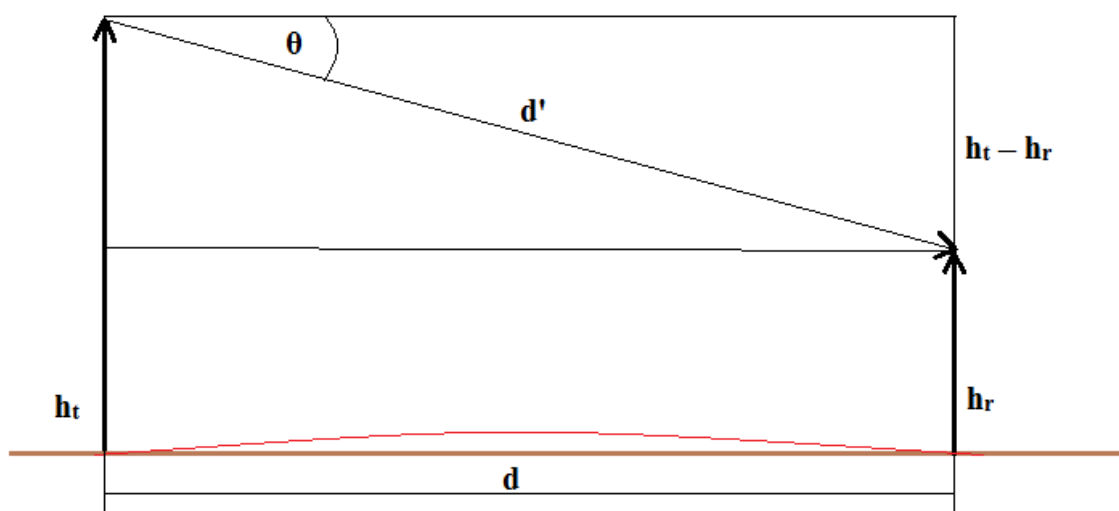
Udaljenost između dvije točke se računa pomoću formule za računanje udaljenosti između točaka u Kartezijevom sustavu, ali se na taj način unosi pogreška u izračun:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3-1)$$

Stvarna (geodetska) udaljenost se razlikuje od one dobivene pomoću formule (3-1), ali je proces dobivanja te udaljenosti izuzetno složen. Udaljenost bi se trebala računati prema formulama opisanim pod [5].

### 3.2. Izračun korigirane udaljenosti i elevacijskog kuta između antene i prijemnika

Stvarna udaljenost i udaljenost dobivena preko koordinata antene i prijemnika se razlikuju, jer antena i prijemnik imaju neku visinu  $h$ . Pomoću trigonometrije moguće je dobiti stvarnu udaljenost, ali se u tom slučaju mora zanemariti zakrivljenost zemlje čime se unosi dodatna pogreška u proračun. Korigirana udaljenost zapravo predstavlja put koji prijeđe direktna zraka od antene do prijemnika.



Slika 3.3 Skica izračuna korigirane udaljenosti i elevacijskog kuta

Sa slike 3.3 se vidi da se (ukoliko se zanemari zakrivljenost zemlje) može vrlo lako izračunati put koji prijeđe direktna zraka i to po Pitagorinom poučku.

$$d' = \sqrt{d^2 + (h_t - h_r)^2} \quad (3-4)$$

Gdje je  $d$  udaljenost između antene i prijemnika,  $h_t$  je visina odašiljačke antene, a  $h_r$  visina prijemnika signala. Elevacijski kut predstavlja otklon neke točke od horizontalne ravnine i on se iz slike 3.3 računa po formuli:

$$\sin \theta = \frac{(h_t - h_r)}{d'} \quad (3-5)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{(h_t - h_r)}{d'} \quad (3-7)$$

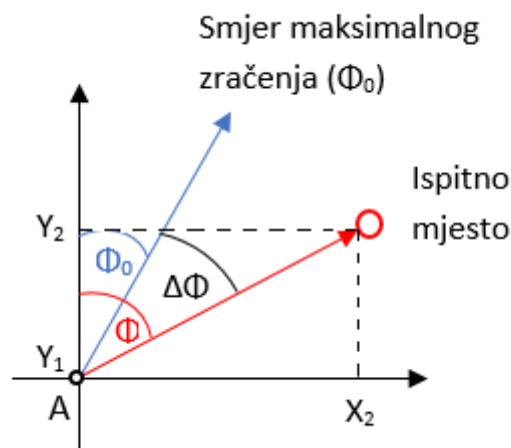
### 3.3. Izračun azimuta između antene i ispitnog mjesta

S obzirom da su koordinate zadane kao udaljenosti od meridijana i ekvatora, moguće je primijeniti trigonometriju pravokutnog trokuta za izračun kuta između prijemnika i antene. Udaljenost između dvaju geografskih dužina predstavlja priležecu katetu, a udaljenost između dviju geografskih širina predstavlja nasuprotnu katetu, te se kut računa preko formule:

$$\operatorname{tg}(\Phi) = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \quad (3-6)$$

iz čega slijedi da je

$$\Phi = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \right) \quad (3-7)$$



Slika 3.4 Skica izračuna azimutnog kuta i smjera maksimalnog zračenja

Kut između antene i ispitnog mjesta se računa prema (3-7). Nakon što se izračuna kut  $\Phi$  potrebno je odrediti  $\Delta\Phi$  prema formuli  $\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0$ . Smjer maksimalnog zračenja zadan je kutom  $\Phi_0$ , a  $\Delta\Phi$  označava kut za koji se određuje dobitak iz dijagrama zračenja u odnosu na smjer maksimalnog zračenja.



## 4. APLIKACIJA ZA PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA

U okviru ovog završnog rada napisana je aplikacija u programskom paketu Matlab. Matlab je platforma koja je optimizirana za rješavanje inženjerskih i znanstvenih problema koja olakšava računanje i vizualizaciju rješenja pomoću ugrađenih matematičkih i grafičkih funkcija. Za potrebe ovog zadatka bilo je potrebno izraditi aplikaciju koja ima grafičko sučelje (slika 4.1) ili GUI (engl. Graphical User Interface) u koje korisnik unosi parametre antene, njezine koordinate i visinu, odabire točan tip antene za koji želi izračunati polje u nekoj točki u prostoru te pritiskom na gumb dobiva sve tražene rezultate i međurezultate. Sva logika zadatka i sve funkcije se odvijaju u pozadini te ih korisnik ne vidi.

Antenski niz		Električno polje i gustoća zračenja						
Koordinate izvora zračenja:		E (V/m):	S (W m <sup>2</sup> ):	Azimutalni kut (stupnjevi):	Delta fi	Elevacijski kut (stupnjevi):	delta theta	
zemljopisna dužina:	5765800	Smjer 1	0.139941	0.0000519467	54.2	54.2	92.3	2.3
zemljopisna širina:	5065600	Smjer 2	0.001999	0.0000000106	54.2	-95.8	269.0	179.4
Odaberite željene smjerove antenskog sustava:		Smjer 3	0.000491	0.0000000006	54.2	-185.8	268.0	177.7
Tip antene:	730-378(...)	Smjer 4	--	--	--	--	--	--
Smjer maksimalnog zračenja:	0 150 240	Smjer 5	--	--	--	--	--	--
Elevacija glavne laticice:	0 2 0	Jakost električnog polja na ispitnom mjestu (V/m): 0.31295491						
Apsolutna visina antene (m):	40 44 40	Ukupna gustoća snage na ispitnom mjestu (W m <sup>2</sup> ): 0.0002597899						
Broj kanala:	5 5 5	Udaljenost između odašiljačkog sustava i mjernog mjesta (m): 789.331363						
EIRP (dBm):	60 60 60	Izracunaj						

Ispitno mjesto

Koordinate ispitnog mjesta: zemljopisna dužina: 5766440, Visina ispitnog mjesta od tla: 8, zemljopisna širina: 5066062

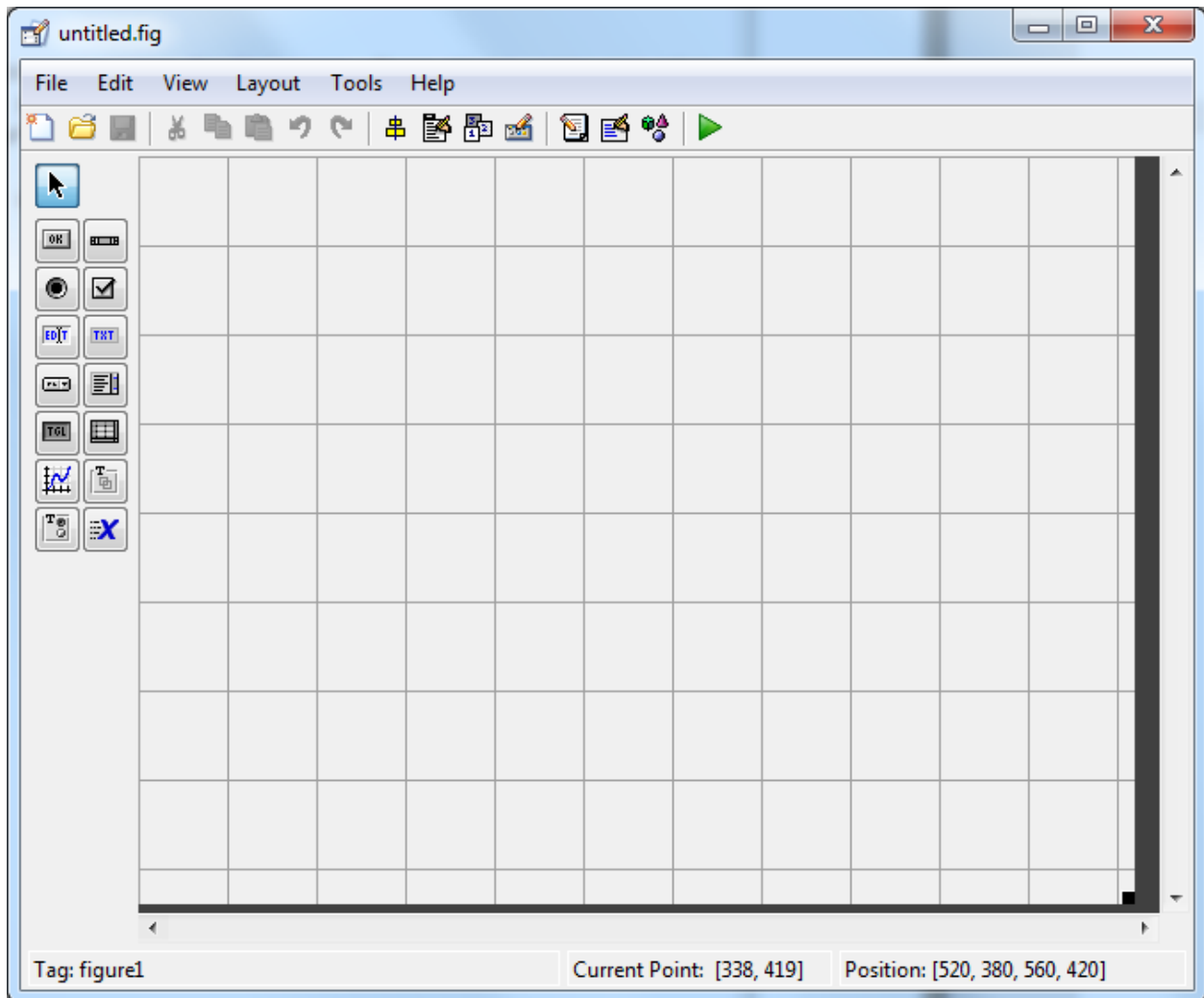
Slika 4.1 Izgled GUI-ja

### 4.1. Izrada GUI-a

GUI se kreira na način da se u Matlabu klikne *File* → *New* → *GUI* → *Blank GUI* te se dobije prazan prozor (sl. 4.2) sa alatnom trakom (engl. toolbar) s lijeve strane pomoću koje se izabiru željeni alati za rad.

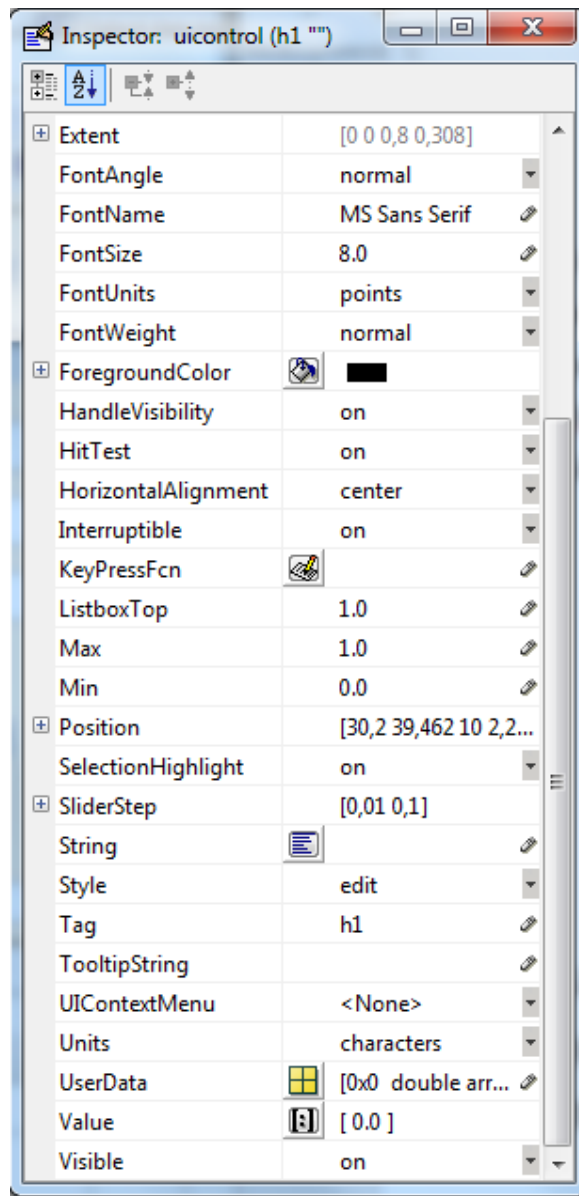
U ovom zadatku se koristilo pet alata za izradu sučelja. Prvi od njih je statični tekst (engl. *static text*) na slici 4.2 ikona *txt* to je tekst u sivom okviru (sl.4.1) koji se ne mijenja tokom izvođenja programa. Drugi je tekst za uređivanje (engl. *edit text*) na slici 4.2 ikona *edit*. Klikom na ikonu edit stvara se bijeli pravokutnik (sl. 4.1) unutar kojega je moguće upisivati tekst, te

ispisivati rezultate funkcija. Treći alat je Pop – up izbornik (engl. Pop – up menu), služi za izbor nekih unaprijed definiranih parametara, konkretno, u ovom zadatku služi za izbor antene (sl. 4.1). Četvrti alat je tipka (engl. push button) pritiskom na koju se izvršavaju funkcije. Peti alat je okvir (engl. checkbox).



Slika 4.2 Prazno sučelje

Dvoklikom na bilo koji blok sučelja otvara se prozor pregled svojstava (engl. property inspector) (sl. 4.3) unutar kojega se mijenjaju svojstva tog bloka. Moguće je mijenjati neka osnovna svojstva poput boje teksta, fonta, boje pozadine itd. posebno zanimljivo svojstvo je oznaka (engl. tag) koja je bitna za pozivanje funkcija u programskom dijelu zadatka, stoga se svakom bloku dodjeljuje jedinstvena oznaka kako bi se znalo s kojim se točno podacima u programu radi.



Slika 4.3 Property inspector

Desnim klikom na blokove: tekst za uređivanje (engl. Edit tekst) , Pop – up izbornik (engl. pop – up menu) ili je tipka (engl. Push button) moguće je pristupiti *callback*-u Unutar *callback*-a se nalazi programski kod koji se izvršava kao rezultat specifične radnje (npr. pritisak na tipku „Izračunaj“ sl.4.1). U ovom zadatku *callback* je korišten u dva slučaja. Prvi je kod izbora antene, prilikom klika na neku od antena učitavaju se dijagrami zračenja za tu specifičnu antenu, koji se kasnije koriste u izračunu. Drugi je kod tipke „Izračunaj“, pritiskom na nju izvršava se niz naredbi koje preuzimaju podatke iz drugih blokova, te s njima računaju željene parametre i na kraju ispisuju rezultate u za to predviđene tekstove za uređivanje (engl. edit tekst).

## 4.2. Programski dio zadatka

Nakon što se kreira GUI potrebno je napisati programski kod koji radi u pozadini. Programski kod se piše unutar *callback* -a, konkretnije, unutar Pop – up izbornik *callback* -a (engl. Pop – up menu) i tipka (engl. push button) *callback* -a. Pop – up izbornik *callback* sastoji se od *switch case* funkcije koja, nakon što korisnik odabere antenu, traži „slučaj“ unutar kojeg se za tu istu antenu vrši učitavanje podataka.

Sa slike 4.4 se vidi dio koda za učitavanje dijagrama zračenja antena iz *Excel* tablice. Učitavanje se vrši pomoću funkcije *xlsread*, unutar zagrade ide ime datoteke iz koje se učitava i raspon unutar kojeg se učitavaju podatci iz datoteke. Kutovi odabrane antene se spremaju u *handles.kut*, vrijednosti dobitaka za azimut *handles.hor*, elevacijske vrijednosti dobitaka se spremaju u *handles.ver* itd. Na kraju svakog slučaja (engl. case) se nalazi *guidata(hObject,handles)* koji služi za pohranu ili dohvaćanje podataka korisničkog sučelja. Bitno je da *.xls* tablice budu u istoj mapi u kojoj se nalazi i program koji se pokreće (*.m file*) kako se ne bi moralo navoditi putanja datoteke.

```
function tip1_Callback(hObject, eventdata, handles) %funkcija koja se otvara
prilikom izbora antene
% te učitava parametre iz Excel tablice za zadanu antenu
tip1 = get(handles.tip1, 'value');
switch tip1
    case 2
        handles.kut=xlsread('730-378.xlsx', 'B2:B542');
        handles.hor=xlsread('730-378.xlsx', 'C2:C542');
        handles.ver=xlsread('730-378.xlsx', 'D2:D542');
        handles.SMAXH=xlsread('730-378.xlsx', 'A6:A6');
        handles.SMAXV=xlsread('730-378.xlsx', 'A8:A8');
        guidata(hObject,handles)
    case 3
        handles.kut=xlsread('739-418.xlsx', 'B2:B542');
        handles.hor=xlsread('739-418.xlsx', 'C2:C542');
        handles.ver=xlsread('739-418.xlsx', 'D2:D542');
        handles.SMAXH=xlsread('739-418.xlsx', 'A6:A6');
        handles.SMAXV=xlsread('739-418.xlsx', 'A8:A8');
        guidata(hObject,handles)
    case 4
        handles.kut=xlsread('739-650.xlsx', 'B2:B542');
        handles.hor=xlsread('739-650.xlsx', 'C2:C542');
        handles.ver=xlsread('739-650.xlsx', 'D2:D542');
        handles.SMAXH=xlsread('739-650.xlsx', 'A6:A6');
        handles.SMAXV=xlsread('739-650.xlsx', 'A8:A8');
        guidata(hObject,handles)
```

Slika 4.4 Dio koda unutar callback-a tip1

```

function Izracunaj1_Callback(hObject, eventdata, handles)

zduzina = str2num (get(handles.zduzina, 'String'));
zsirina = str2num (get(handles.zsirina, 'String'));
%pretvaranje stringa podataka koordinata zemljpisne dužine i širine
%antenskog sustava u brojčanu vrijednost s kojom program radi
zduzina2 = str2num (get(handles.zduzina2, 'String'));
zsirina2 = str2num (get(handles.zsirina2, 'String'));
h2 = str2num (get(handles.h2, 'String'));
%pretvaranje stringa koordinata zemljpisne dužine i širine ispitnog mjesta,
te visine na kojoj
%se nalazi u numeričku vrijednost
d = sqrt((zduzina-zduzina2)^2 + (zsirina-zsirina2)^2);
%izračun udaljenosti preko pitagorinog poučka
set(handles.izracunD, 'String', sprintf('%.6f', d));
%ispis udaljenosti u grafičkom sučelju
hor1=atand((zduzina2-zduzina)/(zsirina2-zsirina));
a = zduzina2 - zduzina;
b = zsirina2 - zsirina;
if a >= 0 & b < 0 hor1=180+hor1;
elseif a < 0 & b < 0 hor1 = 180+hor1;
elseif a < 0 & b >= 0 hor1= 360+hor1;
else hor1=hor1;
end

```

Slika 4.5 Dio koda unutar *callback* - a izračunaj

Nakon što se učita antena i unesu potrebni parametri u sučelje (slika 4.1) pritisne se tipka „Izračunaj“ unutar čijeg *callback* – a se nalazi niz funkcija koje računaju sve tražene vrijednosti. Na početku programa se preuzimaju vrijednosti koje su prethodno unesene u za to predviđene pravokutnike. Program unesene podatke za antenu i ispitno mjesto interpretira kao niz znakova (engl. string) pa je potrebno izvršiti konverziju iz znakova u brojčani oblik kako bi program mogao računati sa zadanim podacima. Konverzija se izvršava pomoću naredbe *str2num*. Prilikom korištenja te naredbe važno je naglasiti odakle se točno trebaju povući podatci, a to se definira pomoću oznake (engl. tag). Dakle za primjer  $h2 = str2num (get(handles.h2, 'String'))$ ; *get* znači dohvati neki podatak sa mjesta *handles.h2* koji je tipa *string*. Isti postupak se ponavlja za unos svih podataka. Nakon pretvorbe svih koordinata u numerički oblik program počinje s izračunima. Prvo se izračuna udaljenost po formuli (3-1). Nakon što se izračuna udaljenost između dvije točke potrebno je je izračunati korigiranu udaljenost prema formuli (3-4). Nakon računanja udaljenosti računaju se elevacijski i azimutni kut. Razlika između azimutnog kuta (*hor1* na slici 4.6) i smjera maksimalnog zračenja (*smax1*) se koristi kako bi se odredilo kut „*deltaf1*“ koji određuje koliko se stupnjeva lijevo ili desno od smjera maksimalnog zračenja nalazi kut za koji se očitava dobitak iz *Excel* tablice. Elevacijski kut se računa prema formuli (3-5). Nakon što se izračuna azimut (*az1* na slici 4.6) te elevacijski kut (*e11* na slici 4.6), oni se zaokružuju pomoću funkcije *round* na cijeli stupanj ili pola stupnja. U *Excel* tablici dio kutova od 0 do 90 i od 270 do 360 stupnjeva ima

razliku od pola stupnja između dva susjedna očitavanja, a ostatak, od jedan stupanj te se na isti način moraju razlikovati i stupnjevi koji se računaju u programu kako bi bilo moguće uspoređivati te vrijednosti sa vrijednostima iz tablica. Uspoređivanje se vrši pomoću dvije *for* petlje koje imaju maksimalno 540 ponavljanja jer toliko ima očitavanja u svakoj od tablica. Prvo se traži kut u tablici koji odgovara izračunatom kutu, nakon toga se uzima vrijednost dobitka za taj kut i sprema u varijablu. Isti postupak se ponavlja i za azimutni za elevacijski kut (slika 4.6). Nakon što se odrede dobici, računa se ukupni dobitak antene koji je jednak dobitku iz smjera maksimalnog zračenja zbrojenog s dobicima iz horizontalnog i vertikalnog dijagrama zračenja za prethodno određene kutove. Električno polje se računa prema formuli (2-17), a gustoća snage prema formuli (2-11). Nakon što se izračunaju sve tražene vrijednosti, potrebno ih je ispisati u za to predviđena mjesta. Ispis se izvršava pomoću naredbe `set(handles.izracun,'String',sprintf('%0.6f',d))`, gdje *set* znači postavi, `handles.izracun` je oznaka jednog od pravokutnika za ispis. `'String',sprintf('%0.6f',d)` pretvara broječni podatak u *string* uz to da se broj zaokružuje na šest decimala.

```
% izračuni za 1. antenu
smjer1 = get(handles.smjer1, 'Value');%preuzimanje vrijednosti 'checkbox-a'
if smjer1 == 1 %ukoliko je u 'checkbox-u' kvačica vrše e proračuni za
odabranu antenu
smax1 = str2num (get(handles.smax1, 'String'));
el1 = str2num (get(handles.el1, 'String'));
h11 = str2num (get(handles.h11, 'String'));
EIRP1 = str2num (get(handles.EIRP1, 'String'));
N1 = str2num (get(handles.N1, 'String'));
d1=sqrt((h11-h2)*(h11-h2)+d*d) %stvarna udaljenost između antene i
prijemnika
az1=hor1 - smax1; %određivanje azimutalnog kuta u odnosu na smjer
maksimalnog zračenja
deltafil = az1;
smj1=az1; %'smj' služi za ispitivanje da li je ispitno mjesto ispred ili iza
antene
set(handles.deltafil, 'String', sprintf('%0.1f', az1)); %ispis razlike
azimutalnog kuta i smjera maksimalnog zračenja
az1=az1+handles.SMAXH;
if az1<0 az1 = 360 + az1;
elseif az1>360 az1=az1-360;
end % ovdje se azimutalnom kutu dodaje kut pod kojim se smjer maksimalnog
zračenja nalazi u dijagramu zračenja
set(handles.izracunAZ1, 'String', sprintf('%0.1f', hor1));
if az1<90 az1 = round(az1*2)/2;
elseif az1>270 az1= round(az1*2)/2;
else az1= round(az1);
end
if az1==360 az1=0;
end % zaokruživanje kuta kako bi se mogao usporedeiti sa vrijednostima u
Excel tablicama
```

```

e11=asind((abs(h11-h2))/d1) - e11;%računanje elevacijskog kuta
if abs(smj1)<=90 e11=90+e11
else e11 = 270 - e11
end % provjera da li je ispitno mjesto ispred ili iza antenskog sustava

set(handles.izracunEL1, 'String', sprintf('%.1f',e11)); %ispis elevacijskog
kuta u za to predviđeno mjesto
deltatheta1 = e11- handles.SMAXV;
set(handles.deltatheta1, 'String', sprintf('%.1f',deltatheta1)); %ispis
razlike elevacijskog kuta i smjera maks zračenja
if e11<90 e11 = round(e11*2)/2;
    elseif e11>270 e11= round(e11*2)/2;
    else e11= round(e11);
end % zaokruživanje kuta kako bi se mogao usporediti sa vrijednostima u
Excel tablicama
for i=1:540
    if az1==handles.kut(i)
        az1d=handles.hor(i);
    end
end
for j=1:540
    if e11==handles.kut(j)
        e11d=handles.ver(j);
    end
end
EIRP1 = EIRP1 + az1d + e11d;
EIRP1 = 10^(EIRP1/10)*0.001;
S1=EIRP1/(4*pi*d1^2);
E1=sqrt(30*EIRP1)/d1;

```

Slika 4.6 Dio koda unutar *callback* - a izračunaj

```

set(handles.izracunE1, 'String', sprintf('%.6f',E1));
set(handles.izracunS1, 'String', sprintf('%.10f',S1));
else
    S1=0;
    N1=0;
    set(handles.izracunAZ1, 'String', '--');
    set(handles.izracunEL1, 'String', '--');
    set(handles.izracunE1, 'String', '--');
    set(handles.izracunS1, 'String', '--');
end

```

Slika 4.7 Dio koda za ispisivanje podataka

## 5. PRORAČUN JAKOSTI ELEKTRIČNOG POLJA I GUSTOĆE SNAGE ZA GSM I LTE SUSTAVE

Primjermom aplikacije za proračun jakosti električnog polja izračunate su jakosti polja i gustoće snage na šest različitih ispitnih mjesta za GSM i LTE odašiljačke sustave. Prvi odašiljački sustav se sastoji od tri Kathrein GSM antene tipa 730-378 i dvije Kathrein LTE antene tipa 742-236. Drugi odašiljački sustav se sastoji od tri Kathrein GSM antene tipa 739-620 i dvije Kathrein LTE antene tipa 742-266. Tehnički podatci o svakoj od antena se nalaze u prilogu.

U tablicama 5.1 i 5.2 dani su podatci za odašiljačke sustave korištene u zadatku, a u tablici 5.3 dane su koordinate ispitnih mjesta te visine na kojima se računa gustoća snage i jakost električnog polja.

Tablica 5.1 Karakteristike antenskog sustava broj 1

	Antenski sustav broj 1				
<b>Zemljopisne odrednice izvora (GK5)*</b>	zemljopisna dužina:5765800; zemljopisna širina:5065600				
<b>Odašiljački sustavi</b>	GSM	GSM	GSM	LTE1800	LTE1800
<b>Tip antene izvora</b>	Kathrein 730_378	Kathrein 730_378	Kathrein 730_378	Kathrein 742_236	Kathrein 742_236
<b>Frekvencija izvora (MHz)</b>	920	920	920	1830	1830
<b>Smjer maksimalnog zračenja</b>	0 <sup>0</sup>	150 <sup>0</sup>	240 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	240 <sup>0</sup>
<b>Elevacija glavne latice (ukupni "tilt" antene) izvora</b>	0 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
<b>Visina odašiljačke antene (m)</b>	40	44	40	40	42
<b>Broj kanala</b>	5	5	5	1	1
<b>EIRP(dBm)</b>	60	60	60	60	60

Tablica 5.2 Karakteristike antenskog sustava broj 2

	Antenski sustav broj 2				
<b>Zemljopisne odrednice izvora (GK5)*</b>	zemljopisna dužina:5765800; zemljopisna širina:5065600				
<b>Odašiljački sustavi</b>	GSM	GSM	GSM	LTE1800	LTE1800
<b>Tip antene izvora</b>	Kathrein 739_620	Kathrein 739_620	Kathrein 739_620	Kathrein 742_266	Kathrein 742_266
<b>Frekvencija izvora (MHz)</b>	920	920	920	1830	1830
<b>Smjer maksimalnog zračenja</b>	0 <sup>0</sup>	150 <sup>0</sup>	240 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	240 <sup>0</sup>
<b>Elevacija glavne latice (ukupni "tilt" antene) izvora</b>	0 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>
<b>Visina odašiljačke antene (m)</b>	40	44	40	40	42
<b>Broj kanala</b>	5	5	5	1	1
<b>EIRP(dBm)</b>	60	60	60	60	60



Tablica 5.3 Koordinate i visine ispitnih mjesta

Oznaka ispitnog mjesta	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6
Zemljopisne odrednice ispitnog mjesta (format GK5)	5766440 5066062	5766317 5065534	5766354 5065109	5765645 5065679	5765796 5065857	5766001 5066018
Visina ispitnog mjesta od tla (m)	8	2	5	5	10	4

U radu je potrebno izračunati  $S$  i  $E$  za jedan kanal za svaki pojedini smjer maksimalnog zračenja, te je potrebno odrediti  $E_{uk}$  i  $S_{uk}$  kao sumu gustoća snaga za  $N$  kanala i doprinosa svih smjerova za pojedini sustav na svakom ispitnom mjestu (posebno se računa GSM, a posebno LTE)

Suma gustoća snaga za neko ispitno mjesto za GSM u danom primjeru računa se po formuli:

$$S_{uk} = N_{0^\circ} * S_{0^\circ} + N_{150^\circ} * S_{150^\circ} + N_{240^\circ} * S_{240^\circ}, \quad (5-1)$$

a za LTE

$$S_{uk} = N_{0^\circ} * S_{0^\circ} + N_{240^\circ} * S_{240^\circ} \quad (5-2)$$

Ukupna jakost električnog polja računa se po formuli:

$$E_{uk} = \sqrt{377 * S_{uk}} \quad (5-3)$$

## 5.1. Proračun električnog polja i gustoće snage za GSM sustave

Kod proračuna se prvo iz koordinata odredi udaljenost i kut između ispitnog mjesta i odašiljačkog sustava prema formulama (3-1) i (3-7).

Zemljopisna dužina (označena slovom  $x$ ) i zemljopisna širina (označena slovom  $y$ ) su zadane u zadatku i iznose: - za antenu  $x_1 = 5765800$ ,  $y_1 = 5065600$

- za ispitno mjesto broj 1:  $x_2 = 5766440$ ,  $y_2 = 5066062$

iz čega slijedi da je udaljenost:

$$d = \sqrt{(5766440 - 5765800)^2 + (5066062 - 5065600)^2} = 789.33 \text{ m.}$$

Udaljenost je dobivena prema (3-1), a prema formuli (3-4) se računa korigirana udaljenost i ona iznosi:  $d' = \sqrt{789.33^2 + (40 - 8)^2} = 789.98 \text{ m.}$

Azimutni kut između odašiljačkog sustava i ispitnog mjesta se računa prema formuli (3-7) i iznosi:

$$\Phi = \text{tg}^{-1} \left( \frac{5766440 - 5765800}{5066062 - 5065600} \right) = 54.175^\circ$$

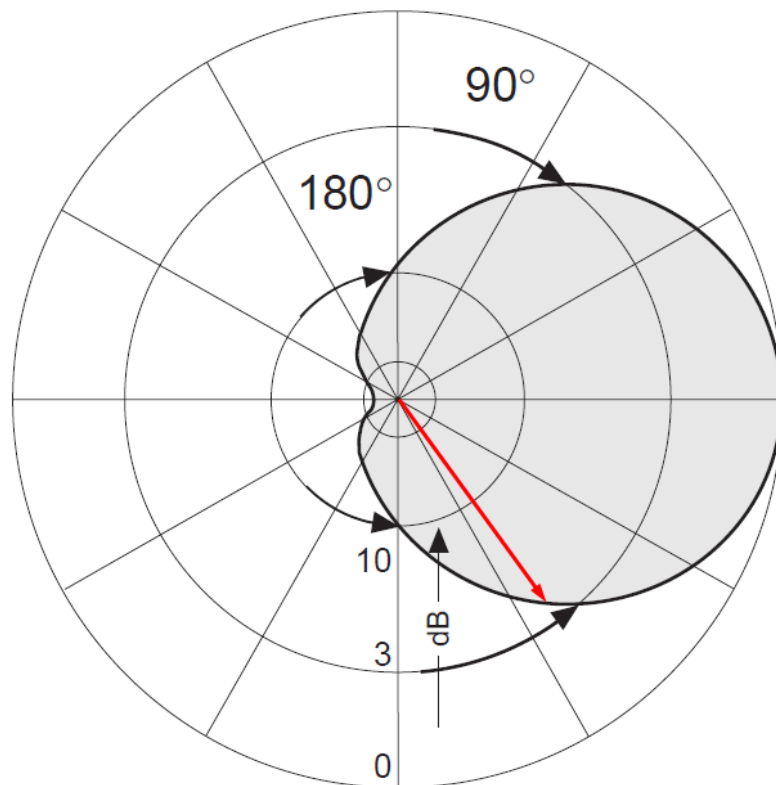
Prilikom računanja kuta bitno je provjeriti u kojem se kvadrantu nalazi ispitno mjesto u odnosu na antenu (antena se nalazi u ishodištu sustava), jer tangens može poprimiti vrijednosti od

90° do -90° s tim da su vrijednosti u prvom i trećem kvadrantu pozitivne a u drugom četvrtom negativne, iz čega slijedi da se kutovima koji se nalaze u drugom i trećem kvadrantu dodaje 180° (kut u drugom kvadrantu je negativan pa se on zapravo oduzima od 180°), a kutovi u četvrtom kvadrantu se oduzimaju od 360°.

Nakon što se izračuna azimutni kut potrebno je naći kut na kojem se nalazi ispitno mjesto u odnosu na smjer maksimalnog zračenja ( $\Phi_2$ ) kako bi se mogao očitati dobitak iz dijagrama zračenja. Taj kut se dobije tako da se od kut azimuta oduzme kut smjera maksimalnog zračenja ( $\Phi_0$ ), koji je zadan u zadatku.

$$\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0 \quad (5-4)$$

U konkretnom primjeru za  $\Phi_0 = 0^\circ$  slijedi da je  $\Delta\Phi = 54.175^\circ - 0^\circ = 54.175^\circ$ . Što znači da se dobitak u horizontalnoj ravnini očitava pod kutom 54.175° od smjera maksimalnog zračenja. Dakle, na slici 5.1 je smjer maksimalnog zračenja pod 90° pa se dobitak očitava pod kutom 144.175°. Očitani dobitak iz dijagrama zračenja (slika 5.1) za kut 144.175° iznosi  $G_\phi = -3.4$  dB. (Matlab program kutove zaokružuje na cijelu ili pola decimale kako bi se mogla izvršiti usporedba sa podacima iz *Excel* tablica)

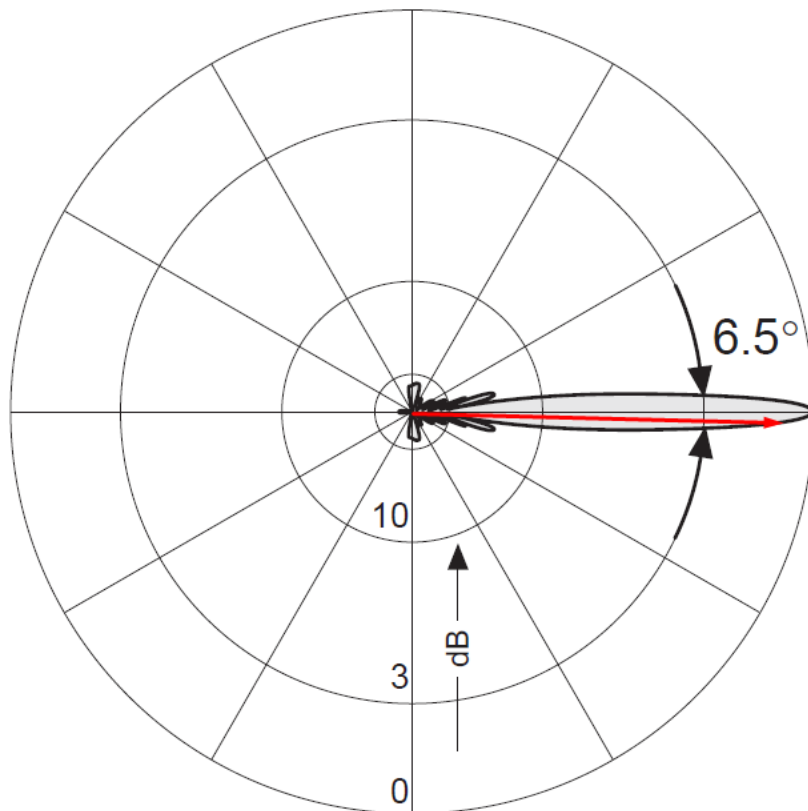


Slika 5.1 Horizontalni dijagram zračenja za antenu 730-378

Nakon što se iščita dobitak iz horizontalnog dijagrama zračenja potrebo je napraviti isto i za vertikalni dijagram, stoga se mora odrediti elevacijski kut prema formuli (3-7). Visine antene i mjesta prijema su zadane, a korigirana udaljenost  $d'$  je prethodno izračunata.

$\theta = \sin^{-1} \frac{(40-8)}{789,98} = 2.32^\circ$ . Tom kutu je potrebno dodati  $90^\circ$  jer se točka promatranja nalazi u drugom kvadrantu.  $\theta = 2.32^\circ + 90^\circ = 92.32^\circ$ . Od tog kuta potrebno je oduzeti smjer maksimalnog zračenja kako bi se mogao očitati dobitak iz vertikalnog dijagrama zračenja.

Slijedi:  $\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 92.32^\circ - 90^\circ = 2.32^\circ$  te se dobitak iščitava  $2.32^\circ$  od smjera maksimalnog zračenja  $G_\theta = -0.5$  dB (Slika 5.2). Ukoliko antena ima nagib (engl. tilt)  $\gamma$  onda se kut za koji se iščitava vrijednost dobitka u odnosu na smjer maksimalnog zračenja određuje kao  $\Delta\theta = \theta - (\theta_0 + \gamma)$ .



Slika 5.2 Vertikalni dijagram zračenja za antenu 730-378

Nakon što su poznati dobitci za horizontalnu i vertikalnu ravninu, ukupni dobitak se određuje kao suma ta dva dobitka. Snaga koju izrači antena u smjeru maksimalnog zračenja zadana je kao efektivno izotropno zračena snaga (EIRP). Kako je EIRP zadan u dBm moguće ga je zbrojiti sa dobitcima te slijedi da je  $EIRP = EIRP_0 + G_\phi + G_\theta$ .

Za primjer iz tablice slijedi  $EIRP = 60 + (-3.4) + (-0.5) = 56.1$  dBm. Kako bi se EIRP mogao koristiti u formulama (2-6) i (2-8) potrebno ga je pretvoriti iz dBm u W.

$$EIRP[dBm] = 10 \log\left(\frac{P_0 * G_{(\phi, \theta)} [W]}{10^{-3}}\right) \quad (5-5)$$

Slijedi da je  $P_0 * G_{(\phi, \theta)} = 10^{\frac{56.1}{10}} * 10^{-3} = 407.380$  W. Dobiveni rezultat se ubacuje na mjesto brojnika u formule (2-6) i (2-8) te se izračuna gustoća snage i jakost električnog polja.

$$S_1 = \frac{407.380}{4 * 789.98^2 \pi} = 0.00005195 \frac{W}{m^2}, E_I = \sqrt{\frac{30 * 407.380}{789.98^2}} = 0.13994 \frac{V}{m}. \text{ Isti postupak je napravljen za}$$

svaki pojedini smjer i za svako ispitno mjesto.

Rezultati dobiveni računanjem pomoću programa nalaze se u tablicama 5.4 – 5.8.

Tablica 5.4 Udaljenosti ,elevacijski i azimutni kutovi ispitnih mjesta

Oznaka ispitnog mjesta	IM1	IM2	IM3	IM4	IM5	IM6
Zemljopisne odrednice ispitnog mjesta (format GK5)	5766440 5066062	5766317 5065534	5766354 5065109	5765645 5065679	5765796 5065857	5766001 5066018
Udaljenost između odašiljačkog sustava i ispitnog mjesta (m)	789.33	521.20	740.27	173.97	257.03	463.82
Azimutni kut (°)	54.2	97.3	131.5	297.0	359.1	25.7
Elevacijski kut za visinu antene 40 m (°)	2.3	4.2	2.7	11.4	6.7	4.4

Tablica 5.5 Rezultati proračuna za GSM i antenu 730-378

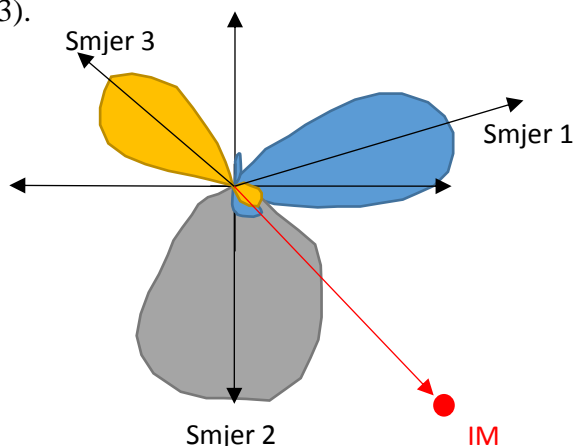
Tipp antene:			730-378 (GSM)			
Ispitno mjesto:	Smjer:	Smjer1	Smjer2	Smjer3		
IM1	E (V/m)	0.139941	0.001999	0.000491	E <sub>uk</sub> (V/m)	0.31295491
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000519467	0.0000000106	0.0000000006	S <sub>uk</sub> (W/m <sup>2</sup> )	0.0002597899
IM2	E (V/m)	0.002954	0.195054	0.001231	E <sub>uk</sub> (V/m)	0.43621721
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000231	0.0001009200	0.0000000040	S <sub>uk</sub> (W/m <sup>2</sup> )	0.0005047359
IM3	E (V/m)	0.001068	0.213093	0.001674	E <sub>uk</sub> (V/m)	0.47651726
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000030	0.0001204504	0.0000000074	S <sub>uk</sub> (W/m <sup>2</sup> )	0.0006023042
IM4	E (V/m)	0.017158	0.003254	0.110782	E <sub>uk</sub> (V/m)	0.25077713
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000007809	0.0000000281	0.0000325539	S <sub>uk</sub> (W/m <sup>2</sup> )	0.0001668148
IM5	E (V/m)	0.021166	0.001883	0.003896	E <sub>uk</sub> (V/m)	0.04830793
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000011883	0.0000000094	0.0000000403	S <sub>uk</sub> (W/m <sup>2</sup> )	0.0000061901
IM6	E (V/m)	0.237909	0.001953	0.001291	E <sub>uk</sub> (V/m)	0.53201278
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0001501380	0.0000000101	0.0000000044	S <sub>uk</sub> (W/m <sup>2</sup> )	0.0007507629

Tablica 5.6 Rezultati proračuna za GSM i antenu 739-620

Tip antene:		739-620 (GSM)					
Ispitno mjesto:	Smjer:	Smjer1	Smjer2	Smjer3			
IM1	E (V/m)	0.093529	0.000200	0.000044	$E_{uk}$ (V/m)	0.20913939	
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000232038	0.0000000001	0.0000000000	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0001160193	
IM2	E (V/m)	0.000376	0.142120	0.000074	$E_{uk}$ (V/m)	0.31779417	
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000004	0.0000535769	0.0000000000	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0002678863	
IM3	E (V/m)	0.000139	0.208243	0.000141	$E_{uk}$ (V/m)	0.46565040	
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000001	0.0001150292	0.0000000001	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0005751467	
IM4	E (V/m)	0.007490	0.001090	0.281493	$E_{uk}$ (V/m)	0.62967209	
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000001488	0.0000000032	0.0002101860	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0010516895	
IM5	E (V/m)	0.011902	0.000150	0.000872	$E_{uk}$ (V/m)	0.02668849	
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000003758	0.0000000001	0.0000000020	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000018893	
IM6	E (V/m)	0.300892	0.000152	0.000170	$E_{uk}$ (V/m)	0.67282353	
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0002401545	0.0000000001	0.0000000001	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0012007732	

U zadatku su zadana tri smjera zračenja za GSM sustav; svaki ima drugačiji kut maksimalnog zračenja. Kut maksimalnog zračenja u smjeru 1 je 0°, kut maksimalnog zračenja smjera 2 je 150°, a kut maksimalnog zračenja smjera 3 je 240°. Smjerovi su zadani tako da sustav pokrije što više okolnog prostora sa signalom. Iz tablica 5.5 i 5.6 se vidi da se polje i gustoća snage mijenjaju ovisno o položaju ispitnog mjesta. I to na način da polje i gustoća snage opadaju s udaljenosti, te da ovise o kutu na kojem se nalazi ispitno mjesto u odnosu na odašiljački sustav.

Kod određivanja  $S_{uk}$  i  $E_{uk}$  u obzir se uzima najnepovoljniji mogući slučaj, a to je da kod antenskog sustava svih  $N$  kanala zrači maksimalnom snagom te se u proračun uključuju doprinosi zračenja antena iz svih smjerova (slika 5.3).



Slika 5.3 Doprinos zračenja antena iz više smjerova ukupnoj gustoći snage na ispitnom mjestu

Na slici 5.3 prikazana je skica dijagrama zračenja tri antene sa tri različita smjera maksimalnog zračenja i njihov utjecaj na ispitno mjesto, sa slike se može vidjeti da na gustoću snage na ispitnom mjestu IM (crvena točka) utječu sve tri antene, jer se njihovi dijagrami zračenja nalaze na pravcu koji spaja odašiljački sustav i to ispitno mjesto.

## 5.2. Proračun električnog polja i gustoće snage za LTE sustave

Kod proračuna za LTE sustave korištene su sve iste formule kao i u dijelu 5.1, samo su uzeti dijagrami zračenja odgovarajućih antena (742-236 i 742-266). U tablicama 5.7 i 5.8 dani su rezultati proračuna za jakost električnog polja i gustoću zračenja na ispitnim mjestima.

Tablica 5.7 Rezultati proračuna za LTE i antenu 742-236

Tip antene:		742-236 (LTE)			
Ispitno mjesto:	Smjer:	Smjer1	Smjer2		
IM1	E (V/m)	0.076903	0.000437	$E_{uk}$ (V/m)	0.06265419
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000156877	0.0000000005	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000104126
IM2	E (V/m)	0.001739	0.000661	$E_{uk}$ (V/m)	0.00186086
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000080	0.0000000012	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000092
IM3	E (V/m)	0.000554	0.000909	$E_{uk}$ (V/m)	0.00106476
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000008	0.0000000022	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000030
IM4	E (V/m)	0.014437	0.047695	$E_{uk}$ (V/m)	0.04983302
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000005528	0.0000060342	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000065871
IM5	E (V/m)	0.033546	0.001929	$E_{uk}$ (V/m)	0.03360147
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000029850	0.0000000099	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000029949
IM6	E (V/m)	0.232226	0.000743	$E_{uk}$ (V/m)	0.23222997
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0001430509	0.0000000015	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0001430524

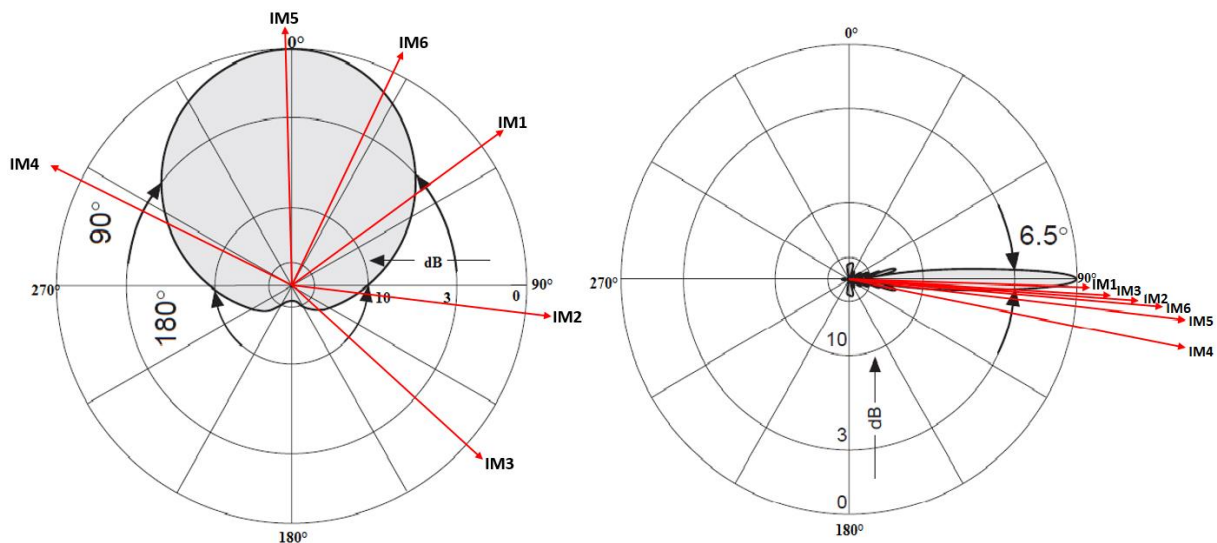
Tablica 5.8 Rezultati proračuna za LTE i antenu 742-266

Tip antene:		742-266 (LTE)			
Ispitno mjesto:	Smjer:	Smjer1	Smjer2		
IM1	E (V/m)	0.062653	0.000079	$E_{uk}$ (V/m)	0.06265419
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000104126	0.0000000000	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000104126
IM2	E (V/m)	0.000331	0.000141	$E_{uk}$ (V/m)	0.00036033
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000003	0.0000000001	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000003
IM3	E (V/m)	0.000126	0.000236	$E_{uk}$ (V/m)	0.00026765
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000000	0.0000000001	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000002
IM4	E (V/m)	0.004461	0.029613	$E_{uk}$ (V/m)	0.02994715
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000000528	0.0000023261	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000023789
IM5	E (V/m)	0.010608	0.000251	$E_{uk}$ (V/m)	0.01061118
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000002985	0.0000000002	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000002987
IM6	E (V/m)	0.087581	0.000187	$E_{uk}$ (V/m)	0.08758244
	S (W/m <sup>2</sup> )	0.0000203465	0.0000000001	$S_{uk}$ (W/m <sup>2</sup> )	0.0000203466

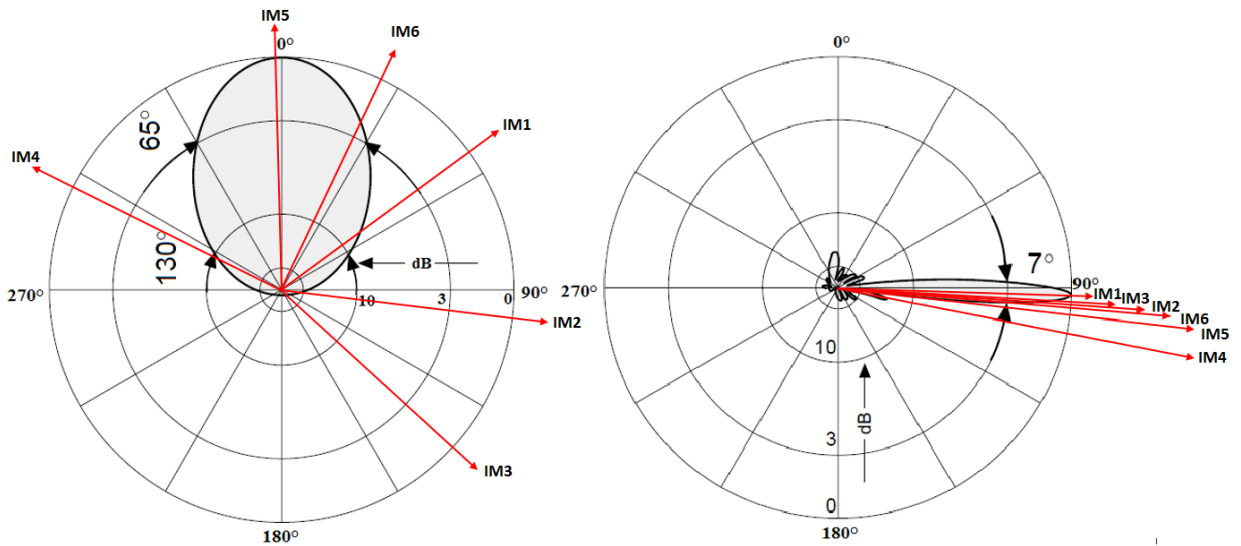
U zadatku su zadana dva smjera zračenja za LTE sustav prvi smjer maksimalnog zračenja je pod kutom od  $0^\circ$ , a drugi je pod kutom od  $240^\circ$ . Iz tablica 5.7 i 5.8 se vidi kako jakost polja i gustoća snage ovise o ispitnom mjestu.

### 5.3. Usporedba dva odašiljačka sustava

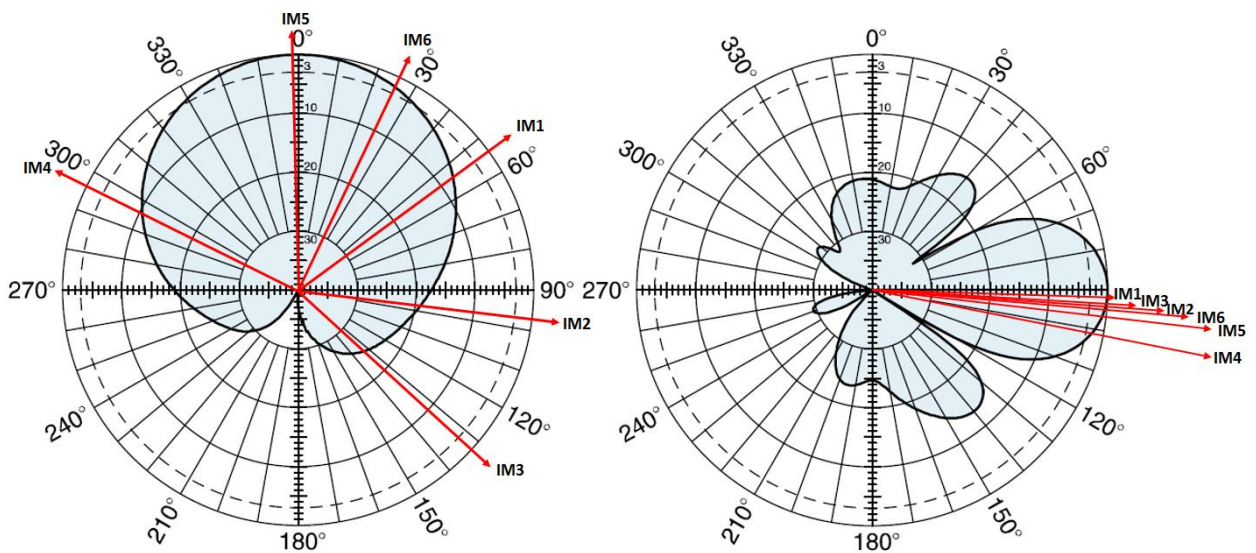
Prvi odašiljački sustav se sastoji od tri GSM antene tipa 730-378 i dvije LTE antene tipa 742-236, a drugi, od tri GSM antene tipa 739-620 i dvije LTE antene 742-266. Parametri antena oba sustava zadani su u tablicama 5.1 i 5.2. Na slikama 5.4 – 5.7 prikazani su dijagrami zračenja za oba odašiljačka sustava. Prva dva dijagrama zračenja (slike 5.4 i 5.5) predstavljaju prvi odašiljački sustav i pozicije ispitnih mjesta u odnosu na antenu. Na slikama 5.6 i 5.7 nalaze se dijagrami zračenja drugog odašiljačkog sustava i pozicije ispitnih mjesta u odnosu na antenu.



Slika 5.4 Horizontalni i vertikalni dijagram zračenja za GSM antenu 730-378 s ucrtanim smjerovima ispitnih točaka u odnosu na smjer 1 zračenja odašiljačkih antena

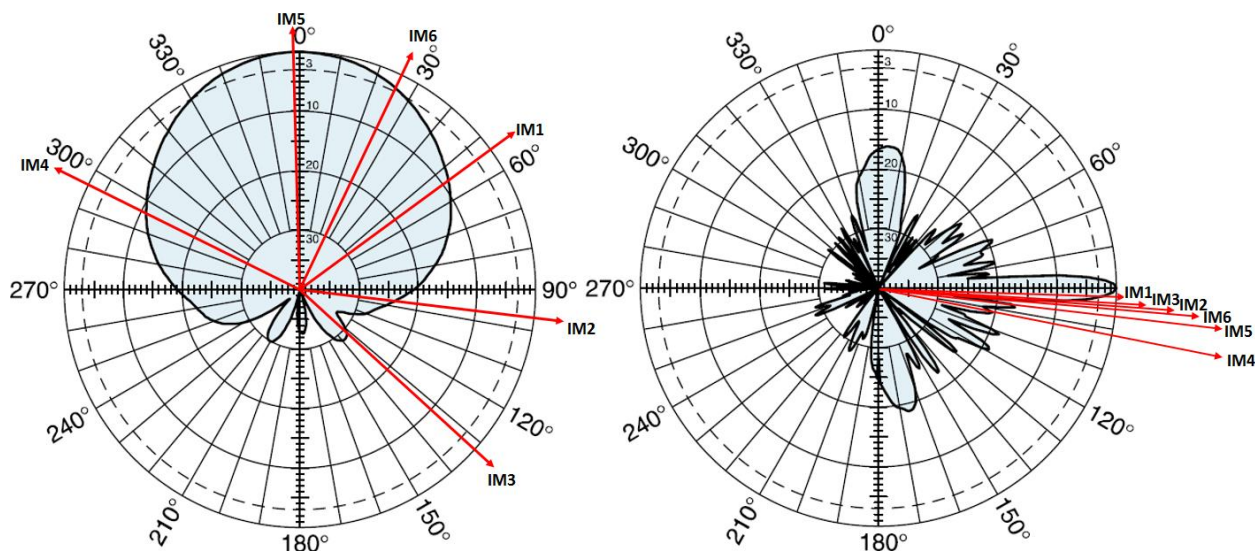


Slika 5.5 Horizontalni i vertikalni dijagram zračenja za LTE antenu 742-236 s ucrtanim smjerovima ispitnih točaka u odnosu na smjer 1 zračenja odašiljačkih antena



Slika 5.6 Horizontalni i vertikalni dijagram zračenja za GSM antenu 739-620 s ucrtanim smjerovima ispitnih točaka u odnosu na smjer 1 zračenja odašiljačkih antena





Slika 5.7 Horizontalni i vertikalni dijagram zračenja za LTE antenu 742-266 s ucrtanim smjerovima ispitnih točaka u odnosu na smjer 1 zračenja odašiljačkih antena

Kod proračuna, oba sustava su imala sve iste parametre osim dijagrama zračenja.

Iz tablica 5.4 i 5.6 može se vidjeti da GSM antena 730-378 iz odašiljačkog sustava broj jedan ima veću jakost polja i gustoću zračenja na većini ispitnih mjesta u odnosu na antenu 739-620. Na prvi pogled se iz dijagrama zračenja moglo pretpostaviti da će antena 739-620 imati bolju pokrivenost okolnog prostora signalom jer ima šire glavne latice u horizontalnom, a naročito u vertikalnom dijagramu zračenja. No proračuni su pokazali da je GSM antena 730-378 ima veće jakosti polja na svim ispitnim mjestima. Razlog tomu su različite skale na dijagramima zračenja korištenih antena što utječe na izgled dijagrama zračenja.

Kod LTE sustava antena 742-266 odašiljačkog sustava broj dva ima značajno manju jakost polja na svim ispitnim mjestima u odnosu na LTE antenu 742-236. U vertikalnom dijagramu zračenja latica antene 742-236 ima blagi nagib (engl. tilt) prema dolje zbog čega antena 742-236 ima veće dobitke na svim ispitnim mjestima, a sukladno tome su i jakosti polja i gustoće snage su veće u odnosu na antenu 742-266. Kada bi antena 742-266 imala blagi nagib prema dolje od tri do pet stupnjeva, imala bi veće dobitke i bila bi bolji izbor za veću pokrivenost prostora signalom. Iz ovih proračuna proizlazi da je za pokrivenost ispitnih mjesta zadanih u zadatku bolje koristiti odašiljači sustav sa GSM antenom 730-378 i LTE antenom 742-236.

## 6. ZAKLJUČAK

U današnjem digitalnom dobu, tehnologija je postala veliki dio ljudske svakodnevnice i mobilni uređaji su svakim danom sve zastupljeniji. Kako je za rad mobilnih uređaja vrlo važna pokrivenost signalom, teleoperateri moraju konstantno obnavljati, održavati i proširivati pokrivenost određenog područja signalom. Kako je prije proširenja ili obnove bitno pretpostaviti ponašanje odašiljačkog sustava vrlo je važno za zadane antene proračunati jakosti polja i gustoće zračenja kako bi se vidjelo da li osiguravaju zahtjeve za kvalitetom veze. Isto tako je prije postavljanja važno odabrati pravu antenu za određeno područje. To se može jednostavno napraviti usporedbom nekoliko antena pomoću programa napravljenog u ovom radu te iz dobivenih rezultata odlučiti koja kombinacija antena je najbolji izbor.

U radu je dana teorijska osnova za proračun jakosti električnog polja, opisani su trigonometrijski postupci korišteni u izračunima, te je napravljena aplikacija u programskom paketu Matlab. Pri proračunu udaljenosti korištena su određena pojednostavljena koja unose pogrešku u ukupni proračun. Udaljenost koja je izračunata u programu odstupa od one geodetske, a samim time odstupaju i azimutni i elevacijski kutovi važni za proračun dobitka antena u smjeru ispitnih mjesta. Nadalje, prilikom očitavanja dobitaka antena za određeni smjer iz prethodno napravljenih *Excel* tablica, u kojima se nalaze numerički podatci za dijagrame zračenja, unosi se dodatna pogreška, jer se kut mora zaokružiti na pola stupnja ili stupanj. Treba naglasiti da program ne provjerava uvjet postojanja radiooptičke vidljivosti između odašiljačke i prijemne antene jer nisu poznate karakteristike terena između ispitnih mjesta i odašiljačkog sustava. Za preciznije rezultate može se koristiti metoda za proračun udaljenosti opisana pod [5] čime će i kutovi biti precizniji. Prilikom unosa podataka u *Excel* tablice bilo bi poželjno očitati vrijednosti za što više kutova kako bi dobitak kojeg program uzima iz tablice bio točniji.

Primjenom izrađene aplikacije napravljen je proračun jakosti polja i gustoće zračenja na šest ispitnih mjesta za GSM sustav s tri antene usmjerene u različitim smjerovima (s azimutnim smjerovima maksimalnog zračenja:  $0^\circ$ ,  $150^\circ$  i  $240^\circ$ ) i LTE sustav s dvije antene (s azimutnim smjerovima maksimalnog zračenja:  $0^\circ$  i  $240^\circ$ ). Napravljen je proračun za svaku pojedinu antenu za svako ispitno mjesto, te ukupni doprinos jakosti polja svih antena na pojedinom ispitnom mjestu. Napravljeni su proračuni za GSM sustav uz primjenu dva tipa antena Kathrein 730-378 i Kathrein 739-620, te za LTE sustav s antenama Kathrein 742-266 i Kathrein 742-236. Nakon što su izračunate vrijednosti za sve antene i sva ispitna mjesta, uspoređena su dva odašiljačka sustava,

a rezultati su pokazali da odašiljački sustav s antenom Kathrein 730-378 za GSM i antenom Kathrein 742-266 za LTE osigurava bolju pokrivenost od sustava s druge dvije promatrane antene.

## 7. LITERATURA

[1] S. Rimac – Drlje, Prostiranje radio vala 1. dio, Dostupno na:

<https://loomen.carnet.hr/mod/resource/view.php?id=159463&redirect=1> [24.8.2017]

[2] Hrvatska norma, HRN EN 50383:2010, Osnovna norma za proračun i mjerenje jakosti elektromagnetskog polja i gustoće apsorbirane snage koja se odnosi na izloženost ljudi radijskim baznim postajama i nepokretnim krajnjim postajama u bežičnim telekomunikacijama i sustavima (119 MHz – 40 GHz), Drugo izdanje, veljača 2012

[3] D. Poljak, Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja – dozimetrija upadnog vala, Dostupno na :

[https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj08Yfc hsDUAhUBQpoKHUuKCk4QFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fhrcaj.srce.hr%2Ffile%2F124762&usq=AFQjCNHeiZ9lseyHc6I5gVJqYDYiT\\_p06A&sig2=In-Fs9nvv515szIkHnw\\_4A](https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj08Yfc hsDUAhUBQpoKHUuKCk4QFggkMAA&url=http%3A%2F%2Fhrcaj.srce.hr%2Ffile%2F124762&usq=AFQjCNHeiZ9lseyHc6I5gVJqYDYiT_p06A&sig2=In-Fs9nvv515szIkHnw_4A)

[15.6.2017.]

[4] Gauss - Krüger koordinatni sustav, Dostupno na: [http://free-](http://free-ri.htnet.hr/geocaching/_private/gausskruger.htm)

[ri.htnet.hr/geocaching/\\_private/gausskruger.htm](http://free-ri.htnet.hr/geocaching/_private/gausskruger.htm) [6.6.2017.]

[5] Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne liste katastarskog plana u kartografskoj projekciji republike hrvatske, HTRS96/TM , verzija 1.0

## SAŽETAK

U ovom radu obrađene su teorijske osnove širenja radiovala slobodnim prostorom, definirane su granice između bliskog i dalekog polja radio-frekvencijskog zračenja te su predstavljeni modeli za računanje električnog polja. Pojašnjeni su geometrijski proračuni korišteni u radu za proračun udaljenosti pomoću zadanih koordinata između odašiljača i ispitnog mjesta, te za proračun elevacijskih i azimutnih kutova. Kreiran je Matlab program koji za zadane parametre antene i zadane koordinate računa polje i gustoću snage na pojedinim mjestima. Za podatke o dijagramima zračenja antena, koji su korišteni u programu, izrađene su *Excel* tablice. Program na osnovu kutova iščita dobitke, na temelju koordinata odašiljačke antene i ispitnog mjesta određuje udaljenosti između njih te proračunava jakost električnog polja i gustoću snage ne nekom ispitnom mjestu. Proračuni se vrše za GSM i LTE antene koje zajedno čine jedan odašiljački sustav, u ovom radu su obrađena dva takva sustava. Uspoređene su jakosti električnog polja za odabrane antene iz čega se došlo do zaključka da se odluka o odabiru antene ne može donijeti samo na temelju dijagrama zračenja nego je potrebno izvršiti proračune i simulacije kako bi se utvrdilo da li određena antena zadovoljava postavljene uvjete.

**Ključne riječi:** antena, električno polje, gustoća snage, dijagram zračenja, Matlab, dobitak, blisko polje, daleko polje, radio-frekvencijsko zračenje, slobodni prostor.

## SUMMARY

In this paper theoretical basis for the propagation of the radio wave in free space is covered, the boundaries between the near and the far field radio–frequency radiation are defined and models for calculating electric fields are presented. The geometric calculations used for distance calculation between transmitter and test location defined by the coordinates, as well as calculations for azimuth and elevation angle were explained. A Matlab program was created for calculation of the electric field and power density in measuring points using given antenna parameters and coordinates. It was necessary to create *Excel* tables which handled numerical data for the antenna radiation pattern. Program reads gains off from *Excel* tables by using previously calculated angles, calculates distance between given transmitter and test spot by using their coordinates and finally calculates electric field strength and power density on the test spot. Calculations for GSM and LTE antennas which together make transmission system were made. In this paper two of those systems are covered. Electric field strength for given antennas were compared and conclusion was made that the decision about antenna selection can't be made based on antenna radiation pattern only but it is necessary to do calculations and simulations to determine does the given antenna meets required conditions.

**Keywords:** antennas, electric field, power density, radiation pattern, Matlab, gain, near field, far field, radio – frequency radiation , free space

## **ŽIVOTOPIS**

Marko Kuprešak rođen je 30. svibnja 1995. godine u Vinkovcima, Republika hrvatska. Od 2003. godine. pohađao je Osnovnu školu Mate Lovraka u Županji. Nakon završene osnovne škole upisuje Prirodoslovno matematičku gimaziju u Županji koju završava 2014. godine. Iste godine upisuje Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i infomacijskih tehnologija u Osijeku na Sveučilištu J.J. Strossmayera i trenutno je na trećoj godini studija.

---

# PRILOG

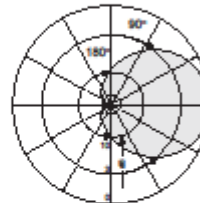
Prilog 1: Tehnički podatci za antenu Kathrein 730-378

**Eurocell Panel** 800/900  
**Vertical Polarization** V  
**Half-power Beam Width** 90°

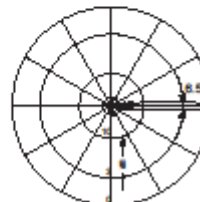
**KATHREIN**  
 Antennen · Electronic

**VPol Panel 800/900 90° 17dBi**

Type No.	730 378	739 418
Frequency range	870 – 960 MHz	806 – 960 MHz
Polarization	Vertical	
Gain	17 dBi	
Half-power beam width	H-plane: 90° E-plane: 6.5°	
Front-to-back ratio	> 23 dB	
Impedance	50 Ω	
VSWR	< 1.3	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc	
Max. power	500 Watt (at 50 °C ambient temperature)	
Input	7-16 female	
Connector position	Rearside	
Weight	12 kg	
Wind load	Frontal: 460 N (at 150 km/h)	
Max. wind velocity	200 km/h	
Height/width/depth	2574 / 258 / 103 mm	



Horizontal Pattern



Vertical Pattern





Prilog 2: Tehnički podatci za antenu Kathrein 742-236

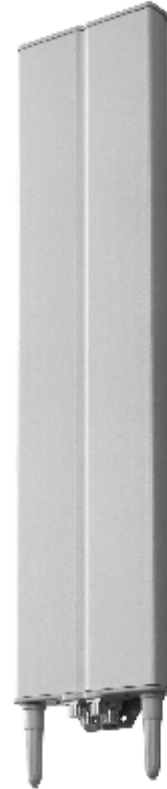
<b>2-Multi-band F-Panel</b>	<b>1710-2180</b>	<b>1710-2180</b>
<b>Dual Polarization</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Half-power Beam Width</b>	<b>65°</b>	<b>65°</b>
<b>Adjust. Electr. Downtilt</b>	<b>0°-10°</b>	<b>0°-10°</b>

set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

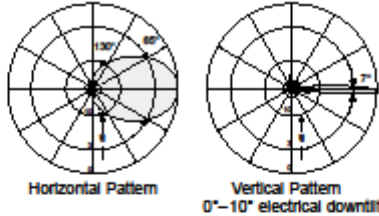
**KATHREIN**  
Antennen · Electronic

**XXPol F-Panel 1710-2180/1710-2180 65°/65° 18/18dBi 0°-10°/0°-10°T**

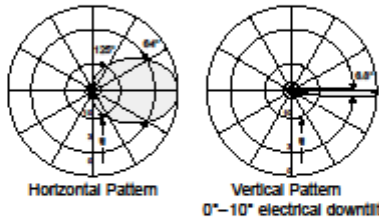
Type No.	<b>742 236</b>		
Frequency range	<b>[1710-2180]</b>		
	1710 – 1880 MHz	1850 – 1990 MHz	1920 – 2180 MHz
Polarization	+45°, -45°; +45°, -45°	+45°, -45°; +45°, -45°	+45°, -45°; +45°, -45°
Gain	4 x 17.5 dBi	4 x 17.7 dBi	4 x 17.8 dBi
Half-power beam width	Horizontal: 65° Vertical: 7°	Horizontal: 64° Vertical: 6.8°	Horizontal: 62° Vertical: 6.5°
Copolar +45°/-45°			
Electrical tilt continuously adjustable	0°-10°	0°-10°	0°-10°
Vertical Pattern – sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 5° ... 10° T 17 ... 15 ... 15 dB	0° ... 5° ... 10° T 20 ... 18 ... 18 dB	0° ... 5° ... 10° T 20 ... 18 ... 16 dB
Front-to-back ratio	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copolar: > 25 dB Total power: > 25 dB
Cross polar ratio			
Main direction	0°	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB
Sector	±60°	> 10 dB	> 10 dB
Isolation, between inputs	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc		
Max. power per input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



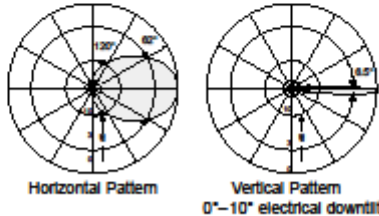
1710 – 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 – 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 – 2180 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	4 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	2x, Position bottom continuously adjustable
Weight	16.5 kg
Wind load	Frontal: 600 N (at 150 km/h) Lateral: 120 N (at 150 km/h) Rearside: 600 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1574 x 360 x 130 mm
Height/width/depth	1319 / 323 / 71 mm

8306.2370v Subject to alteration.

Internet: <http://www.kathrein.de>

742 236 Page 1 of 4

KATHREIN-Werke KG · Anton-Kathrein-Straße 1 – 3 · P.O. Box 10 04 44 · 83004 Rosenheim · Germany · Phone +49 8031 184-0 · Fax +49 8031 184-494

Prilog 3: Tehnički podatci za antenu Kathrein 739-620



**739 620**  
**65° Panel Antenna**

Kathrein's X-polarized antennas are designed for use in digital polarization diversity systems. Analog transmissions may be accomplished using power dividers to apply equal levels of analog transmissions to each port.

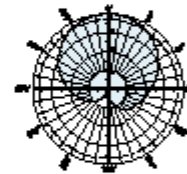
- X-polarized (+45° and -45°).
- UV resistant pultruded radomes.
- Wideband vector dipole technology.
- DC Grounded metallic parts for impulse suppression.

**Specifications:**

Frequency range	806-960 MHz
Gain	2 x 12 dBi (806-880 MHz) 2 x 12.5 dBi (880-960 MHz)
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3 < -150dBc
Front-to-back ratio	>30 dB (co-polar)
Maximum input power	2 x 500 watts (at 50°C)
Polarization	+45° and -45°
±45° polarization horizontal beamwidth	68 degrees (half-power) (806-880 MHz) 65 degrees (half-power) (880-960 MHz)
±45° polarization vertical beamwidth	29 degrees (half-power) (806-880 MHz) 27 degrees (half-power) (880-960 MHz)
Connector	2 x 7/16 DIN female
Isolation	>30 dB
Weight	13.2 lb (6 kg)
Dimensions	25.8 x 10.3 x 4.6 inches (656 x 262 x 116 mm)
Equivalent flat plate area	2.3 ft <sup>2</sup> (0.214 m <sup>2</sup> )
Wind survival rating	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	30.8 x 11.3 x 6.5 inches (782 x 287 x 165 mm)
Shipping weight	16.5 lb (7.5 kg)
Mounting	Fixed mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

*See reverse for order information.*

\*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



Horizontal pattern  
±45° polarization



Vertical pattern  
±45° polarization



Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991  
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com



742 266

65° Dualband Directional Antenna

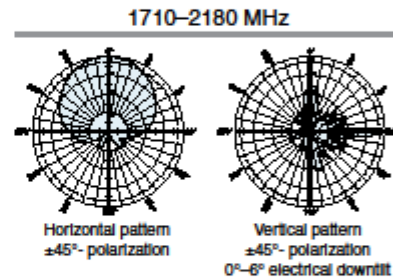
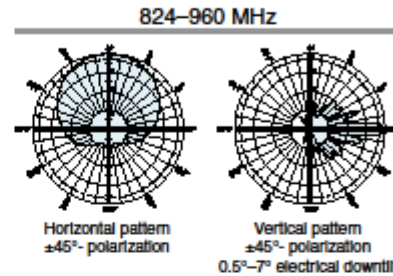
Kathrein's dual band antennas are ready for 3G applications, covering all existing wireless bands as well as all spectrum under consideration for future systems, AMPS, PCS and 3G/UMTS. These cross-polarized antennas offer diversity operation in the same space as a conventional 800 MHz antenna, and are mountable on our compact sector brackets.

- Wide band operation.
- Exceptional intermodulation characteristics.
- Remote control ready.
- Various gain, beamwidth and downtilt ranges.
- AISG compatible.
- High strength pultruded fiberglass radome.

**General specifications:**

Frequency range	824-960 MHz 1710-2180 MHz
VSWR	<1.5:1
Impedance	50 ohms
Intermodulation (2x20w)	IM3: <-150dBc
Polarization	+45° and -45°
Connector	4 x 7/16 DIN female
Isolation	Intrasystem >30 dB Intersystem >50 dB (824-960 // 1710-2180 MHz)
Weight	57.3 lb (26 kg)
Dimensions	99.1 x 10.3 x 5.5 inches (2516 x 262 x 139 mm)
Equivalent flat plate area	8.27 ft <sup>2</sup> (0.768 m <sup>2</sup> )
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	111.3 x 11.9 x 7.8 inches (2826 x 302 x 192 mm)
Shipping weight	72.8 lb (33 kg)
Mounting	Fixed and tilt mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

*See reverse for order information.*



Specifications:	824-894 MHz	890-960 MHz	1710-1880 MHz	1850-1990 MHz	1900-2180 MHz
Gain	16.5 dBi	17 dBi	17.8 dBi	18.2 dBi	18.5 dBi
Front-to-back ratio	>28 dB (co-polar)	>28 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)
Maximum input power per input total power	400 watts (at 50°C) 800 watts (at 50°C)	400 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C) 500 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)
+45° and -45° polarization horizontal beamwidth	68° (half-power)	65° (half-power)	66° (half-power)	65° (half-power)	63° (half-power)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	8.1° (half-power)	7.5° (half-power)	5.2° (half-power)	5° (half-power)	4.7° (half-power)
Electrical downtilt continuously adjustable	0.5°-7°	0.5°-7°	0°-6°	0°-6°	0°-6°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° 4° 7° T 16 16 14 dB	0° 4° 7° T 16 16 14 dB	0° 3° 6° T 13 13 13 dB	0° 3° 6° T 16 15 14 dB	0° 3° 6° T 15 15 15 dB
Cross polar ratio					
Main direction	0°	20 dB (typical)	16 dB (typical)	18 dB (typical)	20 dB (typical)
Sector	±60°	>10 dB	>10 dB	>10 dB	>10 dB



\*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991  
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com