

# Mjerenja parametara loksodromske antena

---

Anić, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:200:328408>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-18**

Repository / Repozitorij:

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



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

**Sveučilišni studij**

**MJERENJE PARAMETARA LOKSODROMSKE**  
**ANTENE**

**Diplomski rad**

**Ante Anić**

**Osijek, 2019**

<b>Sadržaj</b>	
1. UVOD	3
2. ANTENA	4
2.1. Helikoidalna antena	4
2.2. Loksodromska antena	9
3. MODELI LOKSODROMSKE ANTENE	10
3.1. Izvedeni laboratorijski modeli antena	10
4. MJERENJA I REZULTATI MJERENJA	12
4.1. Mjerenja na izvedenim modelima	12
4.2. Mjerni rezultati	13
4.2.1. Odnos stojnih valova - VSWR	13
4.2.2. Impedancija	17
4.2.3. S11	24
4.2.4. Dijagram zračenja	28
5. ZAKLJUČAK	47
6. LITERATURA	48
7. SAŽETAK	48
8. ŽIVOTOPIS	49

## 1. UVOD

Ovaj diplomski rad se bavi dvama modelima loksodromske antene za frekvencijsko područje od 500 MHz do 2 GHz. U radu su izvedena mjerenja parametara modela loksodromske antene: mjerenja dijagrama zračenja, koeficijenta refleksije S11, odnosa stojnih valova VSWR te ulazne impedancije. U glavnome dijelu rada obrađena je helikoidalna antena i njezine karakteristike kao i karakteristike loksodromske antene. Nakon izvršenih mjerenja parametara dvaju modela loksodromske antene, grafički i tablično prikazani su rezultati mjerenja. Osim toga, analizirane su sličnosti i razlike pojedinih modela prema izmjerenim parametrima. U zaključku su iznesene sve ranije navedene činjenice i zaključci kao i mogućnosti primjene ovih antena. Na kraju je navedena korištena literatura te su u kratkom sažetku istaknute najbitnije činjenice iz ovoga diplomskog rada.

## 2. ANTENA

Žičane antene su najstarije, najjednostavnije i najjeftinije za mnogobrojne aplikacije. Žičane antene mogu biti dipol antene, monopol antene, helikoidne, petlje i dr. U praksi žičane antene imaju radijus vodiča koji je u većini slučajeva vrlo mali - tipično manji od  $\lambda / 200$ . Možemo ih vidjeti svuda oko nas, u automobilima, u i na zgradama, brodovima, satelitima. Helikoidalna antena je najjednostavnija žičana antena koja pruža kružno polarizirane valove. Budući da u aksijalnom režimu rada ima veliku usmjerenost, često se koristi u onim sustavima u kojima je potrebno VF signal prenijeti na velike udaljenosti kao što su satelitske komunikacije[1].

U ovom dijelu diplomskog rada biti će govora o karakteristikama helikoidalne i loksodromske antene.

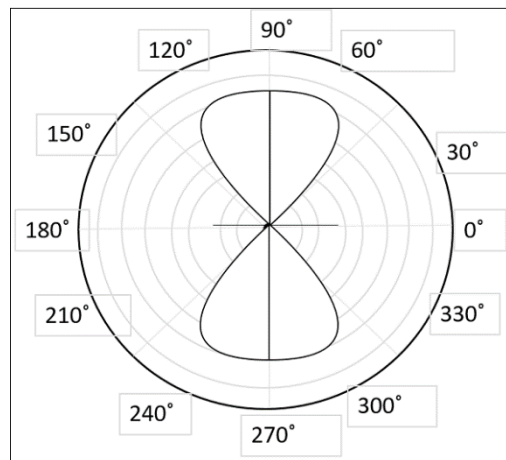
### 2.1. Helikoidalna antena

Helikoidalna antena je antena koja se sastoji od jedne ili više vodljivih žica namotanih u obliku spirale. U većini slučajeva, usmjerene helikoidalne antene se postavljaju na dielektričnu podlogu, a da bi se osigurala velika usmjerenost dodaje se još i reflektor (uzemljena vodljiva ploča). Pobudni vodič se spaja između dna spirale i uzemljene plohe (reflektora). Helikoidalne antene mogu raditi u jednom od dva načina, normalnom i aksijalnom [2].

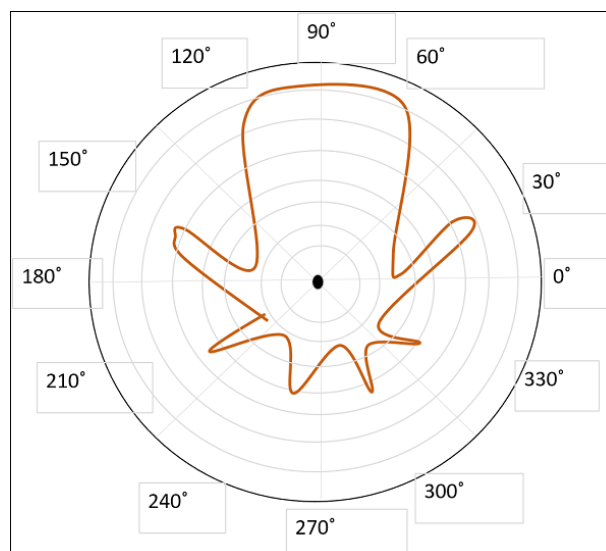
U normalnom načinu rada, promjer i visina antene su mali u usporedbi sa valnom duljinom. Antena djeluje kao električki kratki dipol ili monopol. Sličnosti ovih dviju antena je omnidirekcionalnost s maksimalnim zračenjem pod pravim kutom prema osi spirale. Te se antene koriste za ručne i prijenosne radio uređaje te za UHF emitiranje televizije. Opterećenje koje osigurava zavojnica omogućuje da antena bude fizički kraća od njezine četvrtine valne duljine. Učinak korištenja spiralnog vodiča, a ne ravnog, je da se impedancija mijenja od normalne 50 ohm-a do između 25 i 35 ohm-a impedancije baze. U normalnom načinu rada, polje zračenja je normalno prema osi spirale. Zračeni valovi su kružno polarizirani te se ovaj oblik zračenja dobiva kada su dimenzije spirale male u usporedbi sa valnom duljinom [2].

U aksijalnom načinu rada, promjer i nagib spirale su usporedivi sa valnom duljinom. Antena funkcionira kao usmjerena antena koja zrači snop s krajeva spirale, uzduž osi antene. Ona zrači kružno polarizirane radio valove te se koristi za satelitski komunikaciju. Ovaj način rada dobiva

se podizanjem opsega na poredak jedne valne duljine i razmaka od približno  $\lambda/4$ . Dijagram zračenja je širok i usmjeren duž aksijalne zrake stvarajući manje latice u kosim kutovima[2].



Sl.2.1. Dijagram zračenja u normalnom modu rada prema [6]



Sl.2.2. Dijagram zračenja u aksijalnom modu rada prema [6]

Na dobitak helikodalne (spiralne) antene značajno utječe oblik i veličina reflektora. Obično reflektor ima oblik ravnog kvadrata ili kruga. Geometrija spirale definirana je brojem zavoja  $N$ , promjerom  $D$  i razmakom  $S$  između svakog namota. Duljina antene dana je formulom:

$$L = N \cdot S \quad (2-1)$$

dok se ukupna duljina žice računa prema formuli:

$$L_n = N \times L_0 = N \times \sqrt{S^2 + C^2} \quad (2-2)$$

Gdje je

$$L_0 = \sqrt{S^2 + C^2} \quad (2-3)$$

duljina žice između svakog namota dok je:

$$C = \pi * D \quad (2-4)$$

opseg spirale [1].

Drugi važan parametar je kut nagiba koji tvori tangenta na zavojnu žicu i ravninu okomitu na os spirale. Kut nagiba može se odrediti korištenjem relacije:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{S}{\pi \times D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{S}{C}\right) \quad (2-5).$$

Kada je  $\alpha = 0$  onda je namotaj spljošten i spirala se smanjuje do petlje antene sa N zavoja. Kada je  $\alpha = 90^\circ$ , spirala se reducira na linearnu žicu. Kada je  $0 < \alpha < 90^\circ$ , spirala je formirana sa opsegom većim od 0, ali manjim od opsega kada je spirala reducirana na petlju [1].

Spiralna antena u aksijalnom modu radi u frekvencijskom opsegu  $3/4 < C/\lambda < 4/3$ . Promjer žice u ovom modu nema značajan utjecaj na karakteristike antene. Eksperimentalnim istraživanjem utvrđen je i optimalni kut nagiba u relativno uskom rasponu  $12^\circ < \alpha < 14^\circ$  [1].

U normalnom načinu rada, polje koje zrači antena je maksimalno u ravnini normale prema osi spirale, a minimalno duž njegove osi. U normalnom načinu rada, dimenzije spirale su male u usporedbi sa valnom duljinom [1].

Da bi antena radila u normalnom načinu rada, potrebno je osigurati da je struja po cijeloj duljini spirale konstante veličine i faze. To je u velikoj mjeri zadovoljeno pod uvjetom da je ukupna duljina spirale mala u usporedbi sa valnom duljinom. Zbog kritične ovisnosti karakteristika zračenja o geometrijskim dimenzijama koje moraju biti vrlo male u usporedbi sa valnom duljinom, ovaj način rada je vrlo malog opsega i njegova učinkovitost zračenja je vrlo mala. Praktički, ovaj način rada je vrlo ograničen stoga se i rijetko koristi [1].

Spirala antene može se okretati u dva moguća smjera - desno ili lijevo. Smjer namotaja antene određuje polarizaciju emitiranog vala. Polarizacija antene je definirana polarizacijom EM vala koji antena zrači. Polarizacija EM vala definirana je krivuljom koju opisuje vektor električnog polja EM vala u ravni okomitoj na smjer širenja vala u smjeru maksimuma zračenja. Ako je krivulja koju vrh vektora električnog polja opisuje kružnica, onda se radi o kružnoj polarizaciji. U ovisnosti o tome zakreće li se vektor (fazor) električnog polja, s protekom vremena, u lijevu ili desnu stranu, govori se o desnoj ili lijevoj kružnoj polarizaciji. Ako je krivulja koju vrh vektora opisuje pravac, radi se o linearnoj polarizaciji.

Helikodalne antene mogu primiti signale s bilo kojom vrstom linearne polarizacije ( horizontalnom ili vertikalnom ) dok kod primanja signala kružne polarizacije oba dvije antene ( predajna i prijamna ) moraju biti isto polarizirane. Lijevo polarizirane antene trpe ozbiljne gubitke dobitka kada primaju desno-kružno polarizirane signale i obrnuto [1].

Broj zavoja utječe na usmjerenost same antene. Više zavoja poboljšava dobitak u smjeru svoje osi na oba kraja uz cijenu povećanja dobitka u drugim smjerovima. Ulazna impedancija u aksijalnom modu se kreće između 100 i 200 ohma te je približno jednaka:

$$Z = 140 \cdot (C / \lambda) \quad (2-6)$$

gdje je C opseg spirale a  $\lambda$  valna duljina [2].

Polovica snage širine snopa kod helikoidne antene računa se prema formuli:

$$HPBW \approx \frac{57 \times \lambda^{\frac{3}{2}}}{C \times \sqrt{N \times S}} \quad (2-7),$$

Dok se kompletna snaga dobiva iz formule:

$$FNBW \approx \frac{115 \times \lambda_0^{\frac{3}{2}}}{C \times \sqrt{N \times S}} \quad (2-8).$$

Usmjerenost se računa preko formule:



$$D_0 \approx \frac{c^2 \times S}{\lambda_0^3} \quad (2-9).$$

Jakost dalekoga polja helikoidne antene računa se kao:

$$E = \sin\left(\frac{\pi}{2N}\right) \cos \theta \times \frac{\sin\left[\left(\frac{N}{2}\right) \times \psi\right]}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \quad (2-10)$$

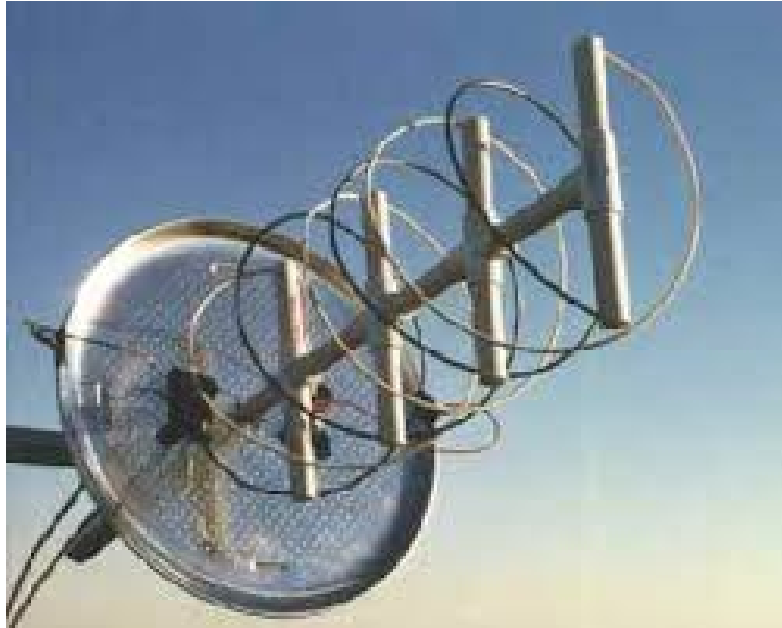
Gdje je

$$\psi = k_0 \times \left(S \times \cos \theta - \frac{L_0}{p}\right) \quad (2-11)$$

$$p = \frac{\frac{L_0}{\lambda_0}}{\frac{S}{\lambda_0} + 1} \quad (2-12)$$

Formula za daleko polje (2-10) ustanovljena je sa pretpostavkom da se spirala sastoji od niza N identičnih zavoja, uniformnog razmaka između njih S, a elementi su smješteni duž Z osi. Izraz za  $\cos \theta$  iz relacije (2-10) predstavlja polje jednog zavoja, dok posljednji izraz iz relacije (2-10) predstavlja faktor polja jedinstvenog niza N elemenata. Ukupno polje dobiva se množenjem polja jednog zavoja sa faktorom polja. Vrijednost p iz (2-11) predstavlja omjer brzine kojom valovi prolaze duž spirale i brzine tih valova u slobodnom prostoru [1].

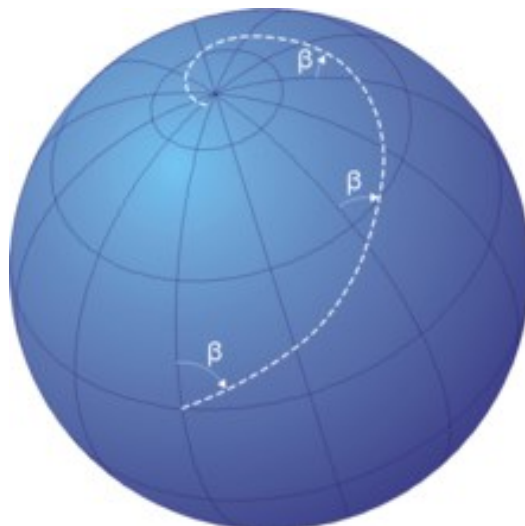
Prednosti helikoidne antene su jednostavni dizajn, dobra usmjerenost, širokopoljasnost, mogućnost kružne polarizacije te frekvencijski područje korištenja (HF i VHF područje). Nedostatci bi bili veličina antene i činjenica da se učinkovitost smanjuje sa brojem namota.



Sl.2.3. Helikoidalna antena prema [6]

## 2.2. Loksodromska antena

Loksodromska antena je varijacija helikoidalne antene kod koje je radijus podloge (jezgre) promjenjiv. Ta podloga je sfera umjesto cilindra te stoga žičana antena opisuje loksodromsku krivulju. U ovom radu ispitana su dva modela (veći i manji broj namotaja) ovih antena u dvije varijante: sa i bez reflektora.



Sl.2.4. Loksodromska krivulja prema [5]

Zbog takvog oblika, loksodromska antena ima znatno širi spektar u usporedbi sa helikoidalnom antenom sličnih dimenzija. Isto kao i helikoidalna antena, ona ima dva moda rada normalni i aksijalni. Antene ovog tipa nisu standardne, već se njihovi parametri istražuju kao i moguće primjene.

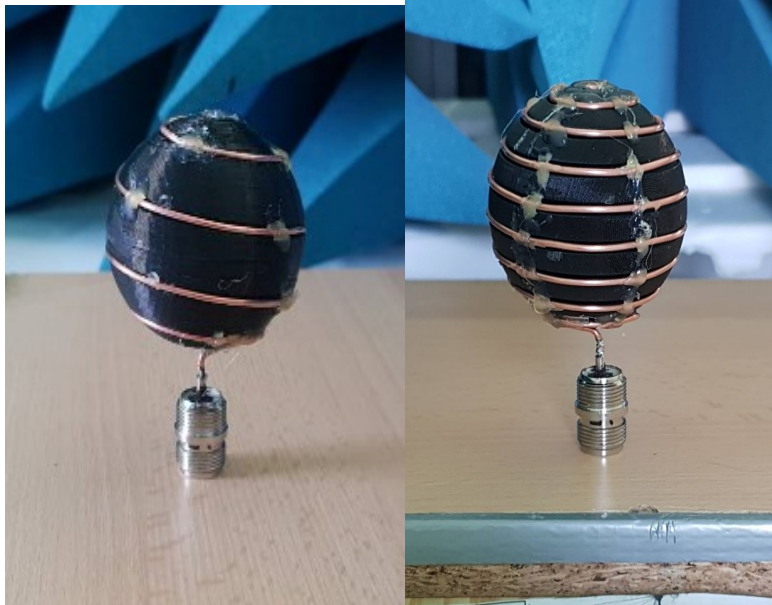
### **3. MODELI LOKSODROMSKE ANTENE**

#### **3.1. Izvedeni laboratorijski modeli antena**

U svrhu mjerenja izrađena su dva loksodromska modela koji se razlikuju po nagibu krivulje. Usljed različitog nagiba loksodromske krivulje uz jednaki promjer sfere, broj namota  $N$  je različit za dva modela.

- A) Prvi model je loksodromska antena sa nagibom loksodroma od približno  $\theta = 8^\circ$  u odnosu na paralelu. Ovaj kut, krivulja loksodroma iznosi približno  $\beta = 90^\circ - 8^\circ = 82^\circ$  u odnosu na meridijan, a u literaturi se nagib loksodroma označava kutom  $\beta$ . Broj namota na sferi promjera 6 cm je 4. U nastavku ovog rada, ova antena će se označavati oznakom L8 (Sl.3.1.1.a).
  
- B) Drugi model jest loksodromska antena sa nagibom loksodroma od približno  $\theta = 5^\circ$  ( $\beta = 90^\circ - 8^\circ = 85^\circ$ ). Broj namotaja na sferi promjera 6 cm je 7. U nastavku ovog rada, ova antena će se označavati oznakom L5 (Sl. 3.1. b).
  
- C) Oba ova modela izvedena su u dvije varijante. Prve varijante su ove koje su prethodno opisane dok su druge dvije identične antene kao prethodne, ali sa reflektirajućom plohom – reflektorom. U nastavku ovog rada, ove varijante antena označavat će se oznakama L8R i L5R (R označava reflektor) (Sl. 3.2. a) i b)).

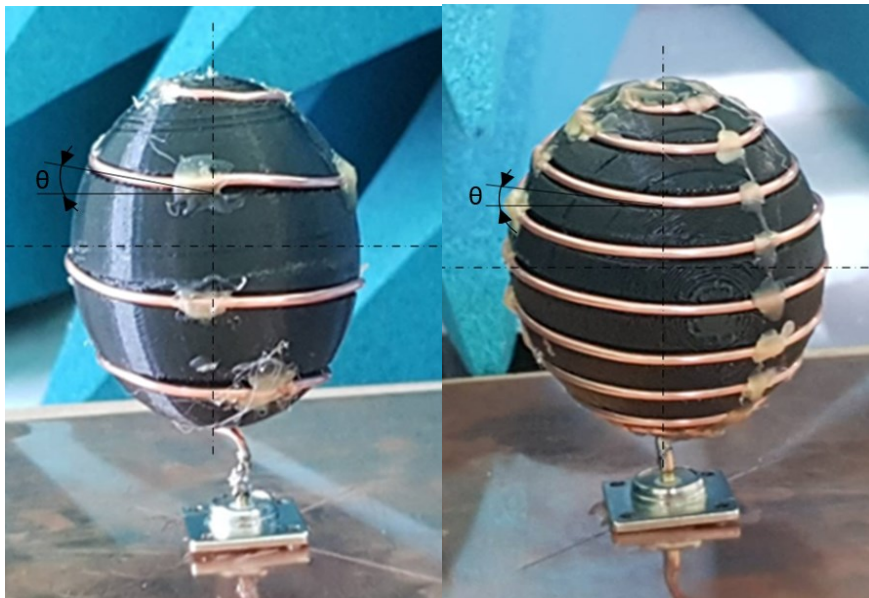
Reflektor je udaljen od sfere oko 1,5 cm. Za pobudu antena korišteni su N/F konektori. Ispitni modeli loksodromskih antena nisu izvedeni sa prilagođenjem.



a)

b)

Sl.3.1. Modeli izvedenih loksodromskih antena a) L8 i b) L5



a)

b)

Sl.3.2. Modeli izvedenih loksodromskih antena a) L8R i b) L5R

## 4. MJERENJA I REZULTATI MJERENJA

### 4.1. Mjerenja nad izvedenim modelima

Prilikom laboratorijskih mjerenja loksodromskih modela korišteni su različiti mjerni instrumenti kako bi saznali sve potrebne parametre samih modela. Oprema koja se koristila pri mjerenjima jest sljedeća: signal generator SG12000 , antena Hyperlog 60100, analizator spektra SPECTRAN HF60105, mjerni kabel KSR195 te mrežni analizator za mjerenje koeficijenata refleksije, ulazne impedancije te odnosa stojnih valova -Keysight N9914A.

Signal generator SG12000 ima frekvencijski raspon od 25 MHz do 12 GHz . Maksimalna izlazna snaga mu je 10 dBm, izlazna impedancija 50 ohm-a te se koristi u dizajniranju antena, radarskim sustavima, laboratorijima isl.



Sl 4.1. Signal generator SG12000 prema [7]

Antena Hyperlog 60100 ima frekvencijski opseg od 690 MHz do 10 GHz. Maksimalna ulazna snaga je oko 50 W, impedancija je 50 ohm-a, dobitak oko 5 dBi. Pokriva razna područja mobilnih radijskih frekvencija te se može koristiti u laboratoriju i za mjerenje jačine polja te u području EMC zbog visoke preciznosti.



Sl 4.2. Antena Hyperlog 60100  
prema [8]



Sl. 4.3. Analizator spektra:  
SPECTRAN HF60105 prema [8]

Analizator spektra SPECTRAN HF60105 ima frekvencijski opseg od 9kHz do 9,4 GHz. Maksimalna ulazna snaga signala mu iznosi 20 dBm, rezolucija od 200 Hz do 50 MHz.

Mjerni kabel KSR 195 jest koaksijalni kabel promjera 4,95 mm, čvrste bakrene jezgre i polietilenske pjene kao izolatora te dva sloja oklopa: prvi je aluminijska folija, a drugi bakreni opleat. Ovaj kabel ima kapacitivnost 79,5 pF/m, impedanciju je 50 ohm-a, prigušenje od 55,4 dB/100m na frekvenciji 2000 MHz i povratne gubitke od 20 dB u rasponu frekvencija 5-3000 MHz..



Sl. 4.4. Mjerni kabel KSR195  
prema [9]



Sl.4.5. Keysight N9914A prema [9]

Analizator za mjerenje ostalih parametara Keysight N9914A ima maksimalnu frekvenciju do 6,5 GHz, dinamički opseg do 95 dB, izlaznu snagu od -1 dBm ; najlakši je od svih analizatora težeci oko 3 kg te ima mogućnost istodobnog mjerenja sva 4 S parametra.

## 4.2. Mjerni rezultati

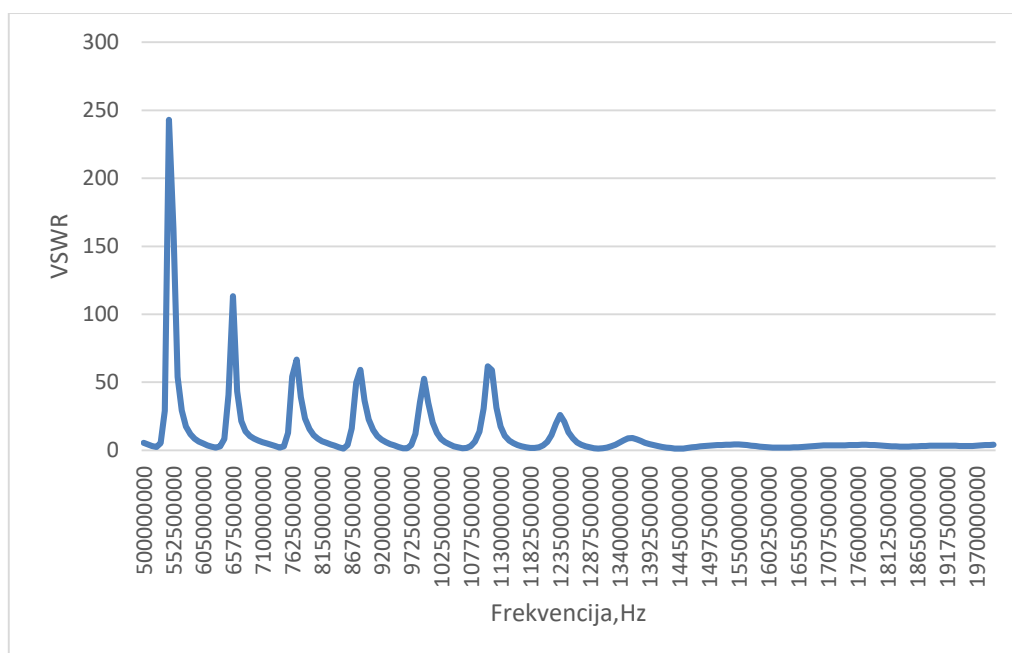
U ovom poglavlju biti će prikazani rezultati mjerenja korištenih loksodromskih modela i to mjerenja odnosa stojnih valova-VSWR, koeficijenta refleksije- S11, jakosti električnog polja antene te impedancije. U dodatku rada biti će prikazane sve izmjerene vrijednosti za svaki od pojedinih parametara. Na svakom modelu izvršena su mjerenja u horizontalnoj ravnini te u vertikalnoj ravnini (dva mjerenja u vertikalnoj ravnini s obzirom na položaj antene).

### 4.2.1. Odnos stojnih valova - VSWR

VSWR se definira kao omjer stojnih valova, odnosno omjer zbroja i razlike susjednih maksimuma napona ( $U_d+U_r$ ) i minimuma napona ( $U_d-U_r$ ) direktnog i reflektiranog vala za jednu određenu frekvenciju[3].

$$VSWR = \frac{U_d + U_r}{U_d - U_r} \quad (2-13).$$

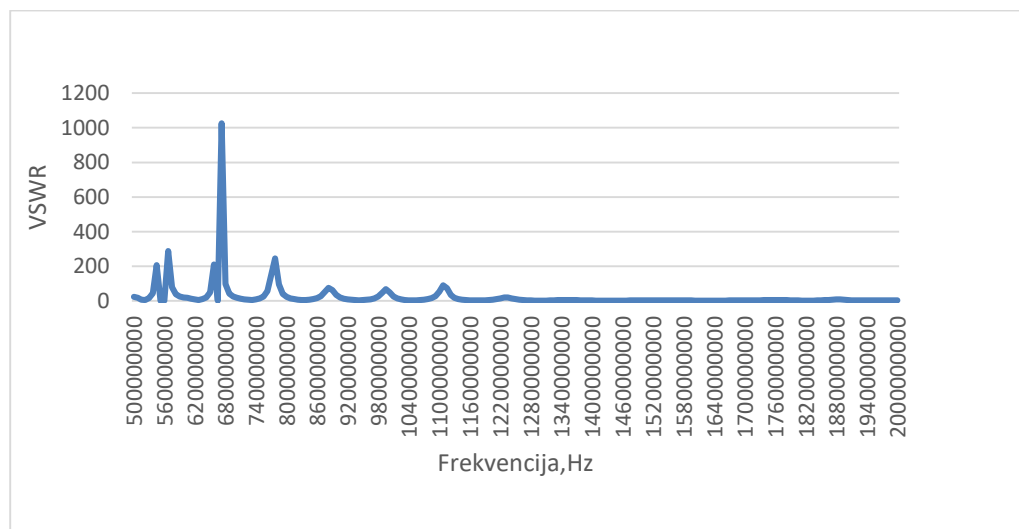
U nastavku će grafički biti prikazane vrijednosti VSWR za svaku od pojedinih antena.



Sl.4.6. Vrijednosti VSWR za antenu L8.

Na Sl.4.6. jasno se vidi da se za antenu L8 ističe 8 opsega frekvencija unutar kojih je vrijednost VSWR ispod dva. Prvi opseg je između 620 i 635 MHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR 1.95 na frekvenciji 628 MHz. Drugi frekvencijski opseg je između 845 i 860 MHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR na frekvenciji 853 MHz i iznosi 1.33. Treći frekvencijski opseg je između 950 i 973 MHz sa najmanjom vrijednosti VSWR od 1.42 na frekvenciji 965 MHz. Četvrti frekvencijski opseg je između 1.06 i 1.08 GHz sa najmanjom vrijednosti VSWR od 1.51 na frekvenciji od 1.06 GHz. Peti frekvencijski opseg je između 1.18 i 1.2 GHz, unutar kojeg je vrijednost VSWR najmanja na frekvenciji 1.19 GHz i iznosi 1.63. Šesti frekvencijski opseg je između 1.29 i 1.32 GHz, unutar kojeg je vrijednost VSWR najmanja na frekvenciji 1.3 GHz i iznosi 1.301. Sedmi frekvencijski opseg je između 1.42 i 1.47 GHz, unutar koje je najmanja vrijednost VSWR na frekvenciji 1.45 GHz i iznosi 1.19. Osmi frekvencijski opseg je između 1.61

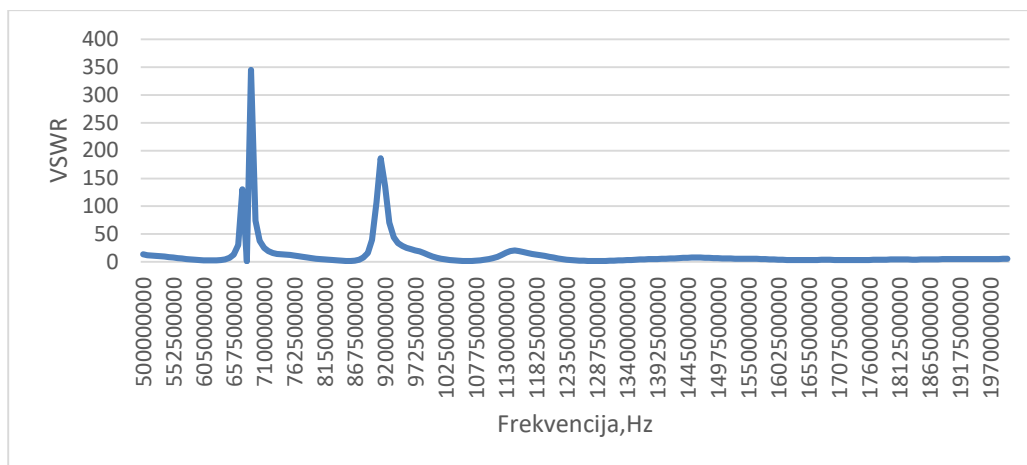
i 1.65 GHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR 1.87 na frekvenciji 1.63 GHz. Sukladno svemu izloženom, može se reći da antena najbolje radi unutar sedmog frekvencijskog pojasa, gdje je vrijednost VSWR najmanja i iznosi 1.19. S obzirom na 8 frekvencijskih opsega za koje vrijedi  $VSWR < 2$ , može se reći da se ova antena pokazuje kao širokopolasna antena. Ipak, ova antena ne spada u UWB antene (UWB antene jesu antene opsega preko 500 MHz) te da bi bili u potpunosti korektni, ovu antenu bi se trebalo svrstati u antene sa više opsega (*eng.* multiband antenna) čija je ukupna širina svih opsega 213 MHz.



Sl.4.7. Vrijednosti VSWR za antenu L8R

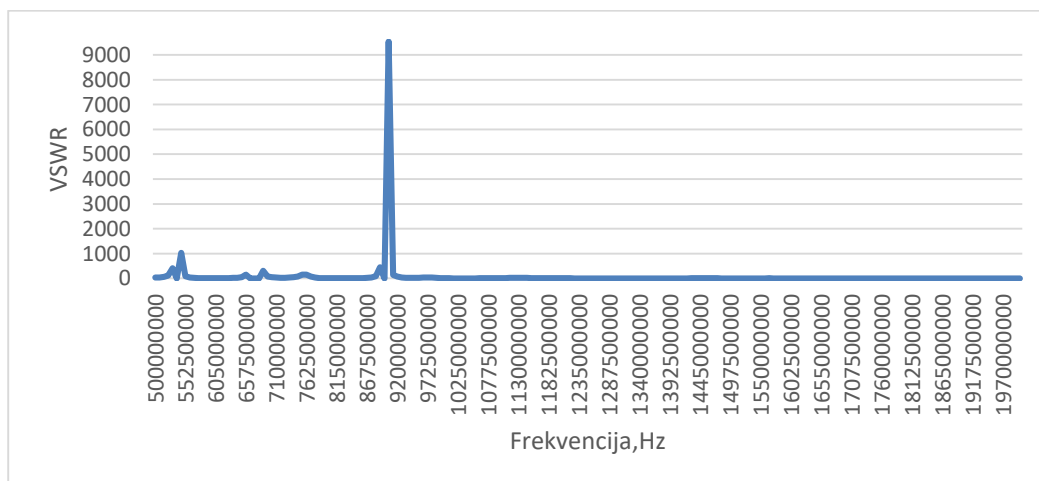
Na Sl.4.7. primjećuju se 6 frekvencijskih opsega unutar kojih vrijednost VSWR pada ispod dva. Prvi frekvencijski opseg je između 545 i 568 MHz, unutar kojeg vrijednost VSWR dostiže vrijednost 1 na frekvencijama 553 i 556 MHz. Drugi frekvencijski opseg je između 658 i 673 MHz, unutar kojeg je vrijednost VSWR 1 na frekvenciji 665 MHz. Treći frekvencijski opseg je između 1.29 i 1.31 GHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR 1.86 na frekvenciji 1.3 GHz. Četvrti frekvencijski opseg je između 1.41 i 1.47 GHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR 1.12 na frekvenciji 1.44 GHz. Peti frekvencijski opseg je između 1.61 i 1.66 GHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR na frekvenciji 1.63 GHz i iznosi 1.807. Šesti frekvencijski opseg je između 1.81 i 1.84 GHz, unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR 1.778 na frekvenciji 1.82 GHz. Dodavanjem reflektora anteni L8 frekvencijski opsega unutar kojih je vrijednost VSWR ispod dva se smanjio te možemo zaključiti da antena koja nije pričvršćena za reflektor ima veću širokopolasnost u odnosu na antenu koja je pričvršćena. Ova antenu također treba svrstati u antene sa više opsega (*eng.* multiband antenna) čija je ukupna širina svih opsega 198 MHz. Antena najbolje radi u prvom frekvencijskom opsegu gdje je vrijednost VSWR najmanja i iznosi 1.





Sl.4.8.. Vrijednosti VSWR za antenu L5.

Na Sl.4.8. vidi se da za antenu L5 postoji četiri frekventijska opsega unutar koji vrijednosti VSWR padaju ispod dva. Prvi frekventijski opseg je između 673 i 688 MHz i iznosi 1 na frekvenciji od 680 MHz. Drugi frekventijski opseg je između 838 i 868 MHz gdje je vrijednost VSWR najmanja na frekvenciji 853 MHz i iznosi 1.28. Treći frekventijski opseg je između 1.05 i 1.09 GHz unutar kojeg je vrijednost VSWR najmanja na frekvenciji 1.06 GHz i iznosi 1.43. Četvrti frekventijskih opseg je između 1.26 i 1.33 GHz unutar kojeg je vrijednost VSWR najmanja na frekvenciji 1.29 GHz i iznosi 1.266. Ova antenu treba svrstati u antene sa više opsega (*eng.* multiband antenna) čija je ukupna širina svih opsega 155 MHz. S obzirom na vrijednosti VSWR ova antena najbolje radi unutar prvog frekventijskog opsega gdje je vrijednost VSWR najmanja i iznosi 1.



Sl.4.9. Vrijednosti VSWR za antenu L5R.

Na Sl.4.9. primjećujemo četiri frekvencijska opsega unutar kojih je vrijednost VSWR ispod dva. Prvi frekvencijski opseg je između 530 i 545 MHz unutar kojeg vrijednost VSWR iznosi 1 na frekvenciji 538 MHz. Drugi frekvencijski opseg je između 658 i 688 MHz unutar kojeg je najmanja vrijednost VSWR na frekvencijama 665, 673 i 680 MHz i iznosi 1. Treći frekvencijski opseg je između 890 i 905 MHz unutar kojeg je vrijednost VSWR 1 na frekvenciji 898 MHz. Četvrti frekvencijski opseg je između 1.25 i 1.32 GHz unutar kojeg je vrijednost VSWR minimalna na frekvenciji 1.28 GHz i iznosi 1.23. Ova antenu također treba svrstati u antene sa više opsega (*eng.* multiband antenna) čija je ukupna širina svih opsega 130 MHz. S obzirom na sve navedeno pričvršćivanjem antena L5 na neku reflektiranu površinu širokopojasnost se neznatno mijenja.

Uspoređujući sve četiri ispitane antene, najveću širinu frekvencijskog opsega rada ima antena L8 kod koje je broj frekvencijskih opsega kao i ukupna širina svih opsega najveća (broj opsega iznosi 8, a širina svih opsega je 213 MHz). Nakon toga, slijedi antena L8R sa 6 frekvencijskih opsega ukupne širine opsega od 198 MHz. Za antene L5 i L5R, širokopojasnost je dosta slična te je manja u usporedbi sa antenama koje imaju manji broj namota (za L5 ukupna širina opsega je 155 MHz, a za L5R 130 MHz).

#### 4.2.2. Impedancija

Prilikom mjerenja impedancije za svaku od antena bilo je potrebno iz Smithova dijagrama saznati kompleksnu vrijednost s11 parametra kako bi dobili realni i imaginarni dio ulazne impedancije koristeći se formulama pretvorbe. Nakon dobivenog realnog i imaginarnog dijela impedancije, bilo je potrebno izračunati apsolutnu vrijednost impedancije kao korijen zbroja kvadrata realne i imaginarne vrijednosti.

$$Z_{in}(\text{Real}) = Z_0 \times \left( \frac{1 - R^2 - X^2}{(1 - R)^2 + X^2} \right) \quad (2-14).$$

Iz formule (2-14) dobiva se realni dio ulazne impedancije.  $Z_0$  predstavlja ulaznu impedanciju koaksijalnog kabela koji se spaja na antenu 50 ohm-a. Veličine R i X predstavljaju realni i imaginarni dio S11 parametra.

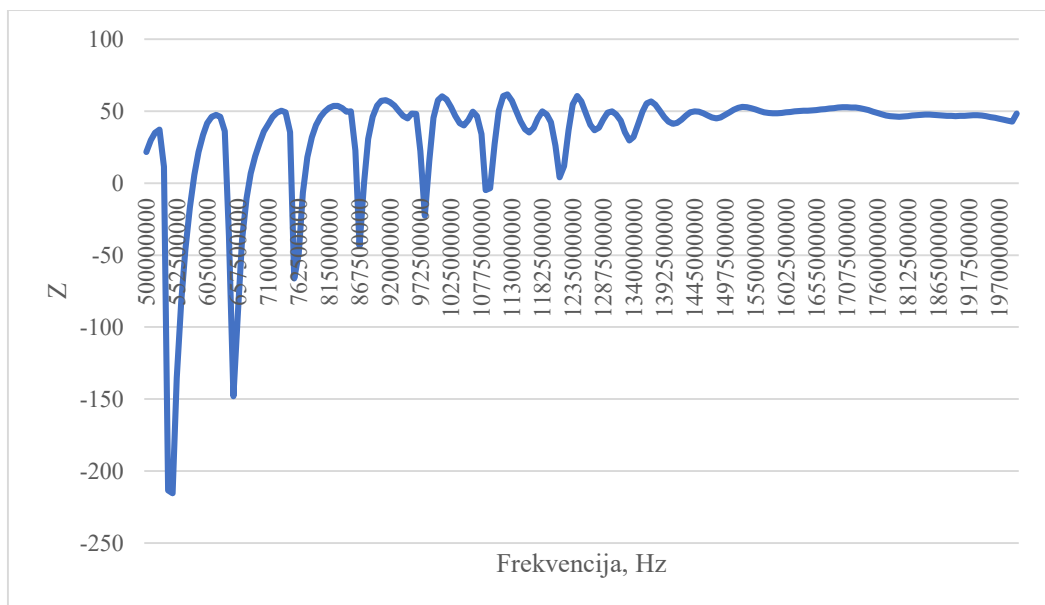
$$Z_{in}(\text{Imaginary}) = Z_0 \times \left( \frac{j2X}{(1 - R)^2 + X^2} \right) \quad (2-15).$$

Iz gore navedene formule dobiva se imaginarni dio ulazne impedancije. Isto kao i za realni dio,  $Z_0$  predstavlja ulaznu impedanciju impedanciju koaksijalnog kabela koji se spaja na antenu 50 ohm- a. dok R i X predstavljaju realni i imaginarni dio S11 parametra.

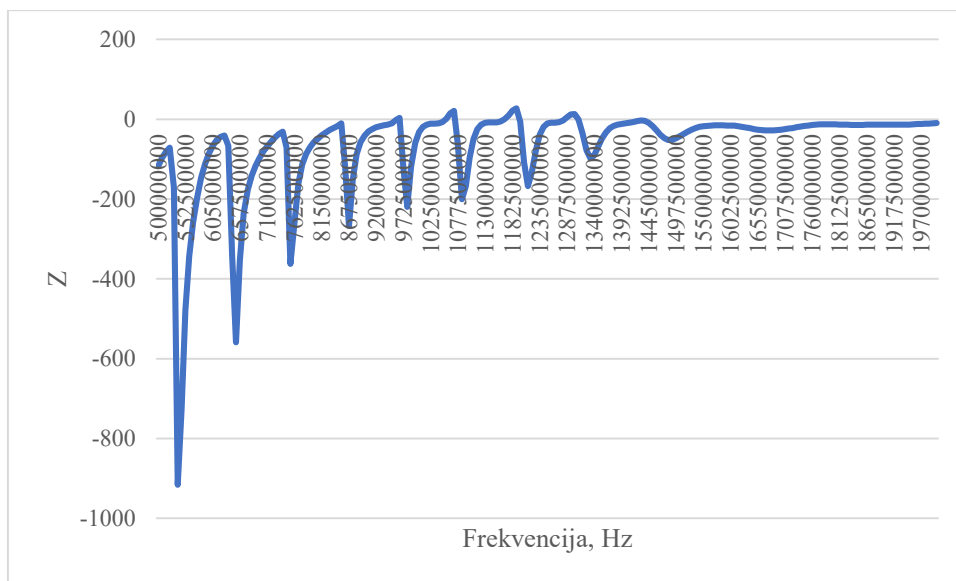
$$|Z| = \sqrt{Z_{in}(\text{Real})^2 + Z_{in}(\text{Imaginary})^2} \quad (2-16).$$

Nakon izračunatih vrijednosti realnog i imaginarnog dijela ulazne impedancije, apsolutnu vrijednost treba izračunati prema formuli (2-16).

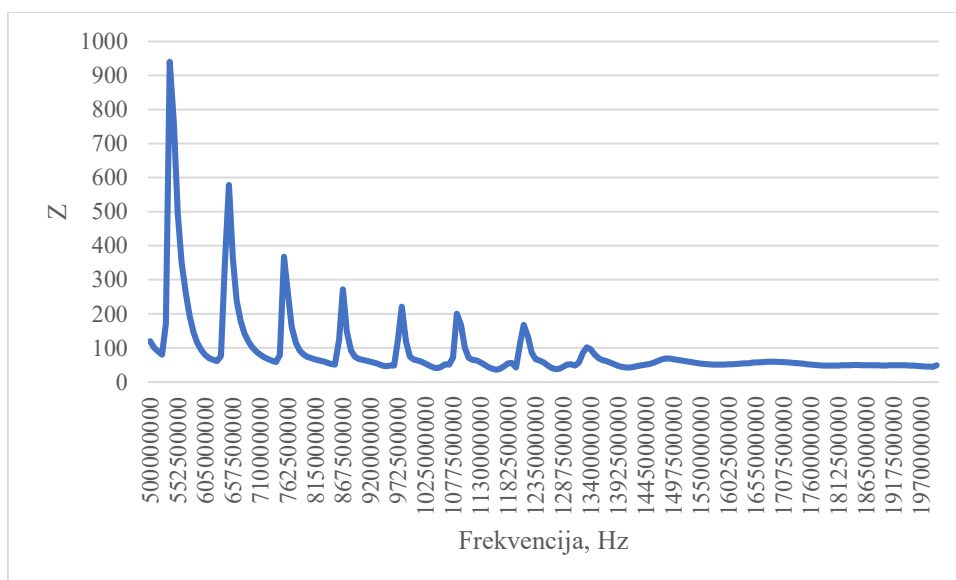
U nastavku će grafički biti prikazane ovisnosti realnog i imaginarnog dijela impedancije o frekvenciji te apsolutne vrijednosti impedancije o frekvenciji za svaku antenu.



Sl.4.10. Ovisnost realnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L8.

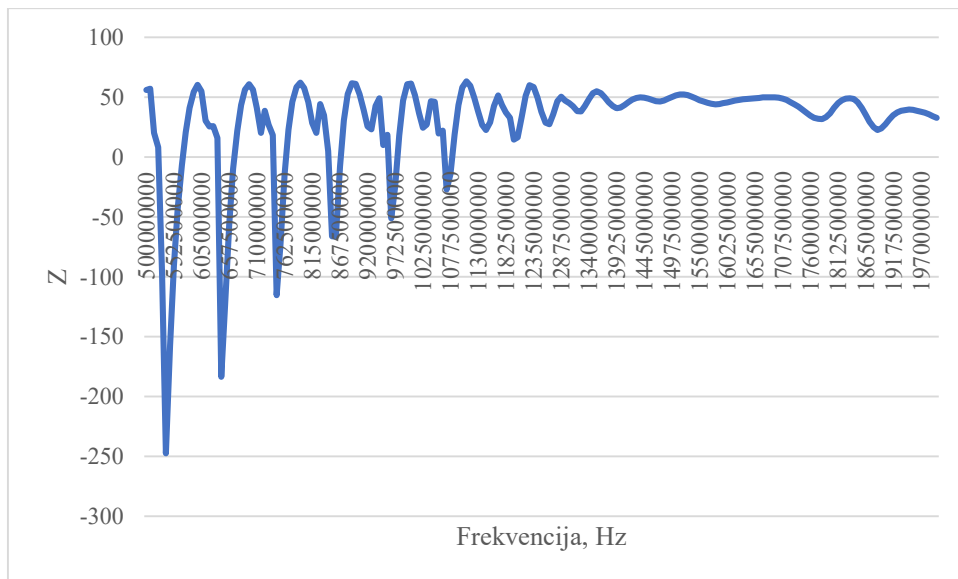


Sl.4.11. Ovisnost imaginarnog djela impedancije o frekvenciji za antenu L8.

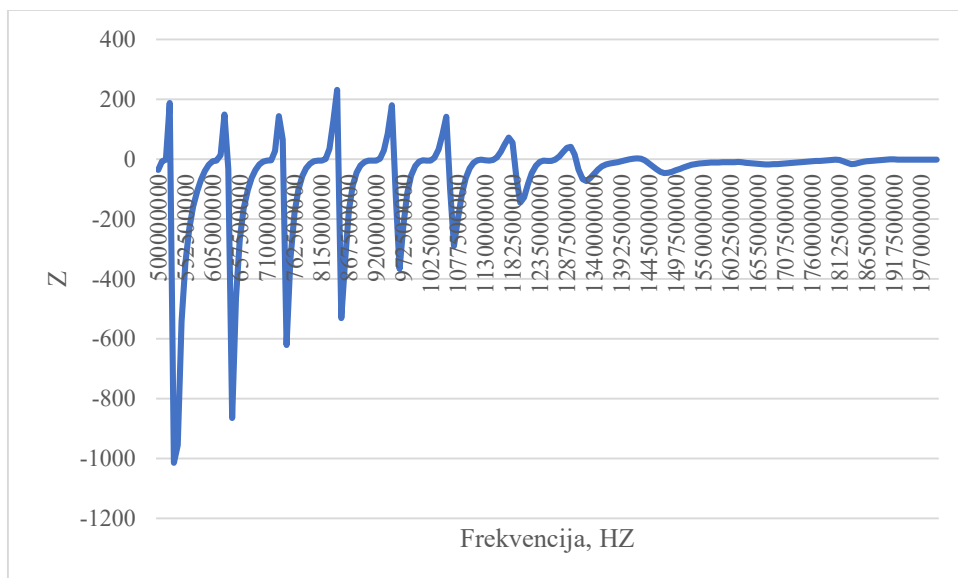


Sl.4.12. Ovisnost apsolutne vrijednosti impedancije o frekvenciji za antenu L8.

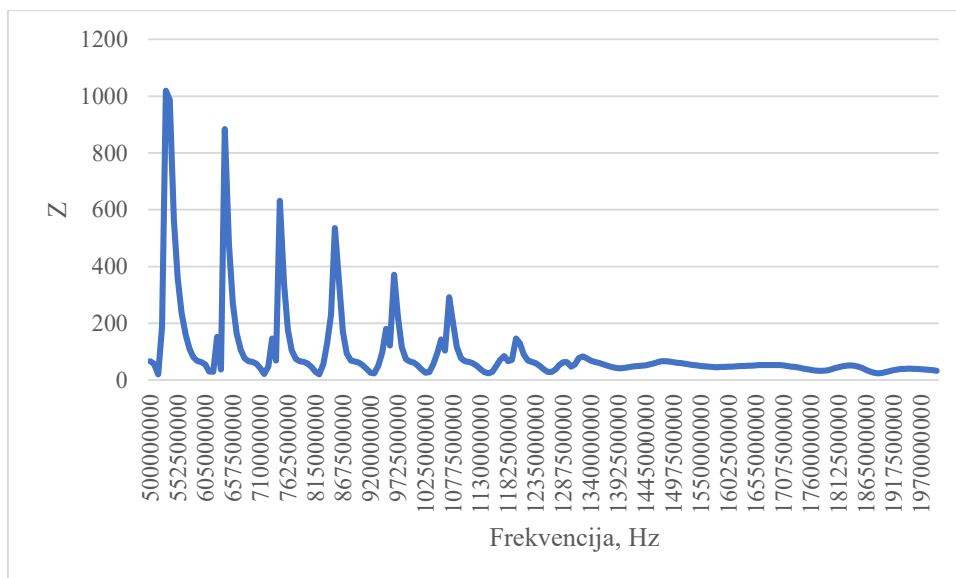
Za antenu L8, minimalne vrijednosti VSWR i S11 parametara se nalaze u frekvencijskom opsegu između 1,42 i 1,48 GHz . Minimalna vrijednost VSWR u tom opsegu iznosi 1,19 dok minimalna vrijednost S11 iznosi -20,28. Najbolju prilagođenost antena L8 ima na frekvenciji 1,31 GHz, na kojoj vrijednost realnog dijela impedancije iznosi 47,758 ohm-a dok vrijednost imaginarnog dijela impedancije iznosi -0,3776 ohm-a. Vrijednosti realnog i imaginarnog dijela impedancije zadovoljavaju željene vrijednosti realnog dijela od 50 ohm-a i imaginarnog dijela od 0 ohm-a za koje je prilagođenje najbolje.



Sl.4.13 Ovisnost realnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L8R.

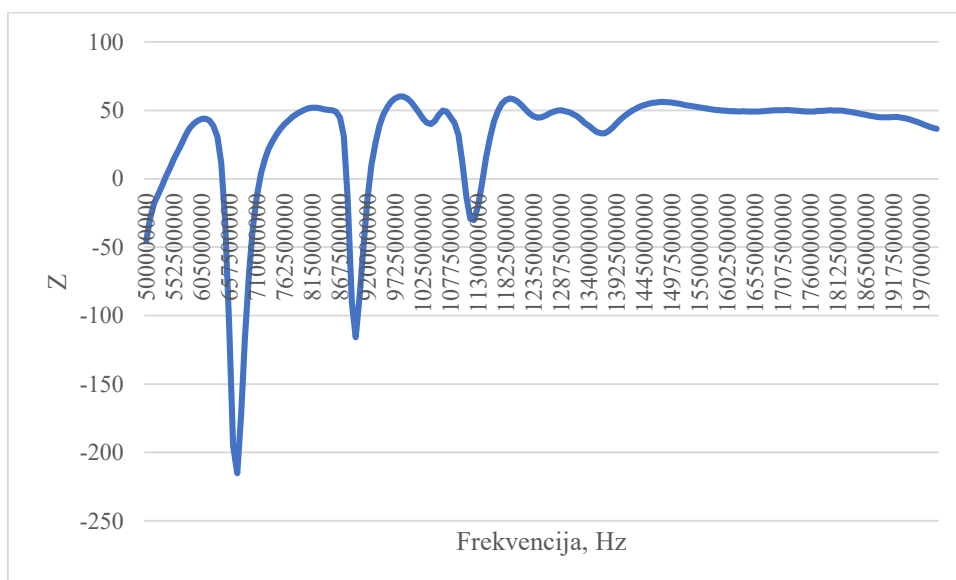


Sl.4.14. Ovisnost imaginarnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L8R.

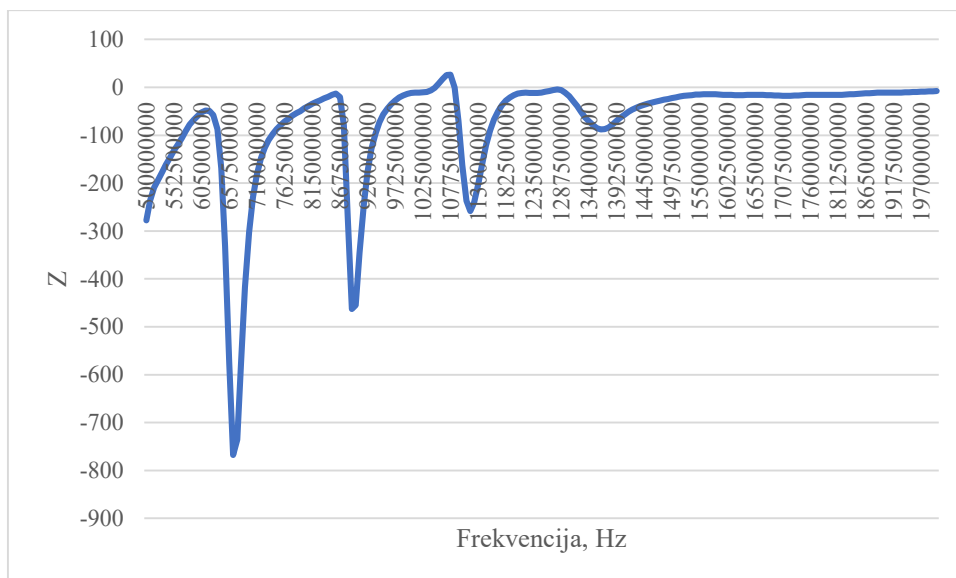


Sl.4.15. Ovisnost apsolutne vrijednosti impedancije o frekvenciji za antenu L8R.

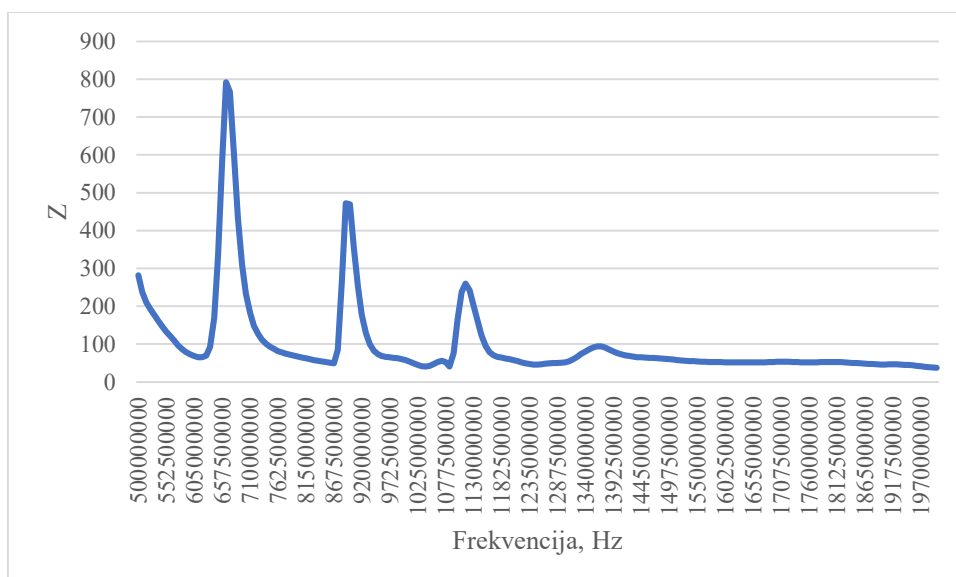
Za antenu L8R, minimalne vrijednosti VSWR i S11 parametara se nalaze unutar frekventijskog opsega između 1,41 i 1,47 GHz. U tome frekventijskom opsegu, najbolje prilagođenje antena L8R ima na frekvenciji 1,43 GHz na kojoj vrijednosti realnog dijela impedancije iznosi 49,464 ohm-a dok vrijednost imaginarnog dijela impedancije na toj frekvenciji iznosi 0,930 ohm-a.



Sl.4.16. Ovisnost realnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L5

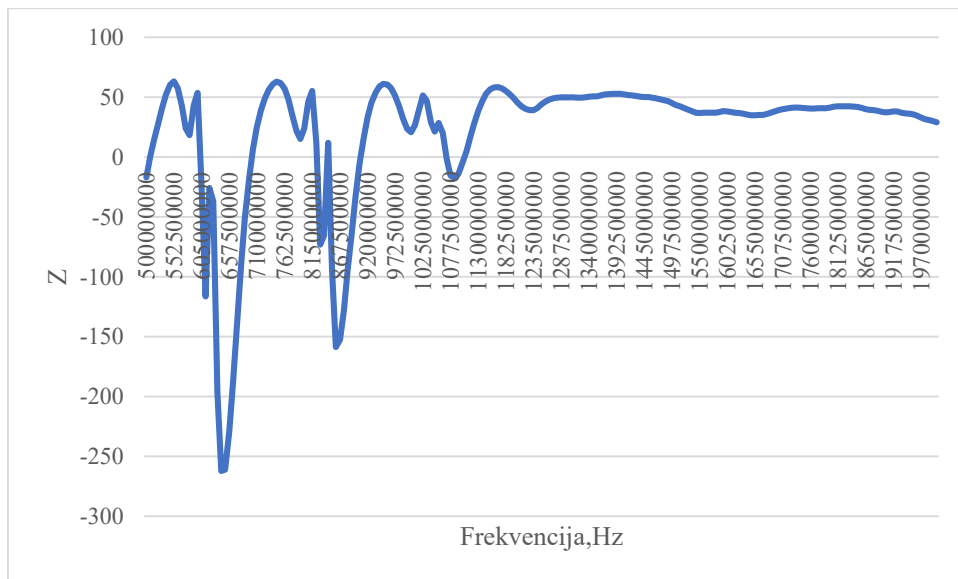


Sl.4.17. Ovisnost imaginarnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L5.



Sl.4.18. Ovisnost apsolutne vrijednosti impedancije o frekvenciji za antenu L5.

Za antenu L5, minimalne vrijednosti VSWR i S11 parametara se nalaze u frekvencijskom opsegu od 838 do 868 MHz. Najbolje prilagođenje antene se postiže na frekvenciji od 1,05 GHz na kojoj je vrijednost realnog dijela impedancije 42,08 ohm-a dok je vrijednost imaginarnog dijela impedancije -0,447 ohm-a.

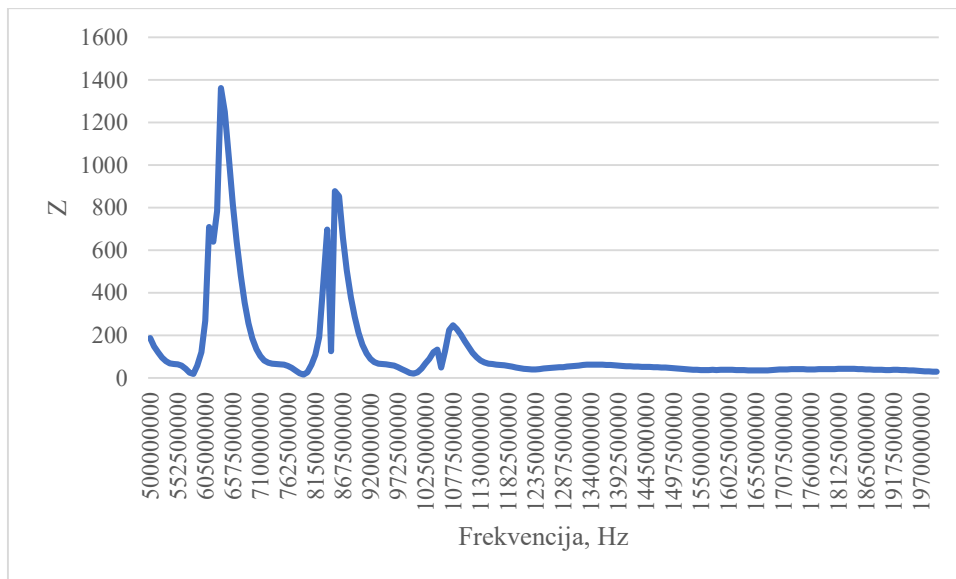


Sl.4.19. Ovisnost realnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L5R.



Sl.4.20. Ovisnost imaginarnog dijela impedancije o frekvenciji za antenu L5R.





Sl.4.21. Ovisnost apsolutne vrijednosti impedancije o frekvenciji za antenu L5R.

Antena L5R najbolje prilagođenje impedancije ima u frekvencijskom opsegu između 1,25 i 1,32 GHz budući da su vrijednosti S11 i VSWR u tom opsegu minimalne. Najbolje prilagođenje se postiže na frekvenciji 770 MHz na kojoj su vrijednosti realnog i imaginarnog dijela impedancije 48,028 i -0,3814 ohm-a.

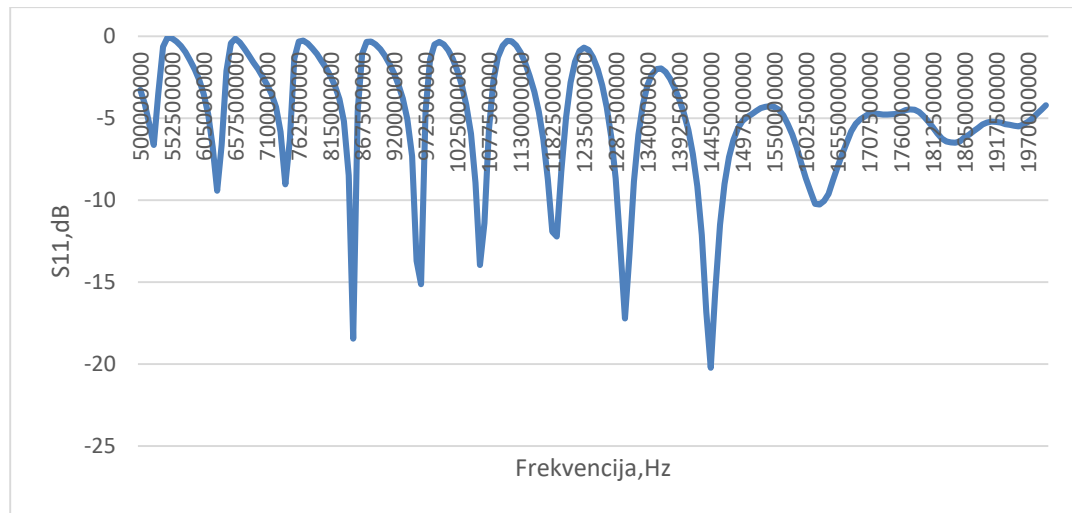
Nakon analize rezultata mjerenja, može se zaključiti da najbolje prilagođenje impedancije ima antena L8R, nakon nje slijedi antena L5R, zatim slijedi antena L8 dok najgore prilagođenje impedancije ima antena L5.

### 4.2.3. S11

S parametri opisuju ulazno izlazni odnos između priključaka ili terminala u električnom sustavu. Na primjer, ako imamo dva priključka nazvanih port 1 i port 2, S12 predstavlja snagu koja se prenosi sa priključka 2 u priključak 1. S21 predstavlja snagu koja se prenosi sa priključka 1 na priključak 2. Općenito, SNM predstavlja snagu prenesenu iz porta M u port N u mreži sa više priključaka [4].

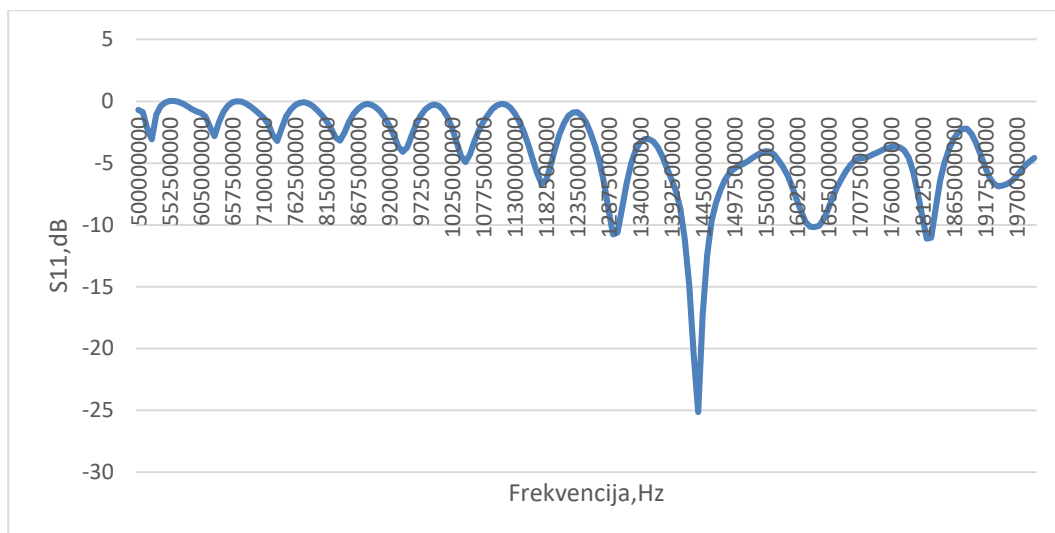
S11 predstavlja koliko se snage reflektira od antene, i stoga je poznat kao koeficijent refleksije ili povratni gubitak. Ako je S11=0 dB, onda se sva energija reflektira od antene i ništa se ne zrači. Budući da su antene dizajnirane kao niski gubici, idealno je da se većina energije koja se prenosi na antenu zrači [4].

U nastavku će grafički biti prikazane vrijednosti S11 parametra za svaku od pojedinih antena.



Sl.4.22. Ovisnost S11 parametra za antenu L8

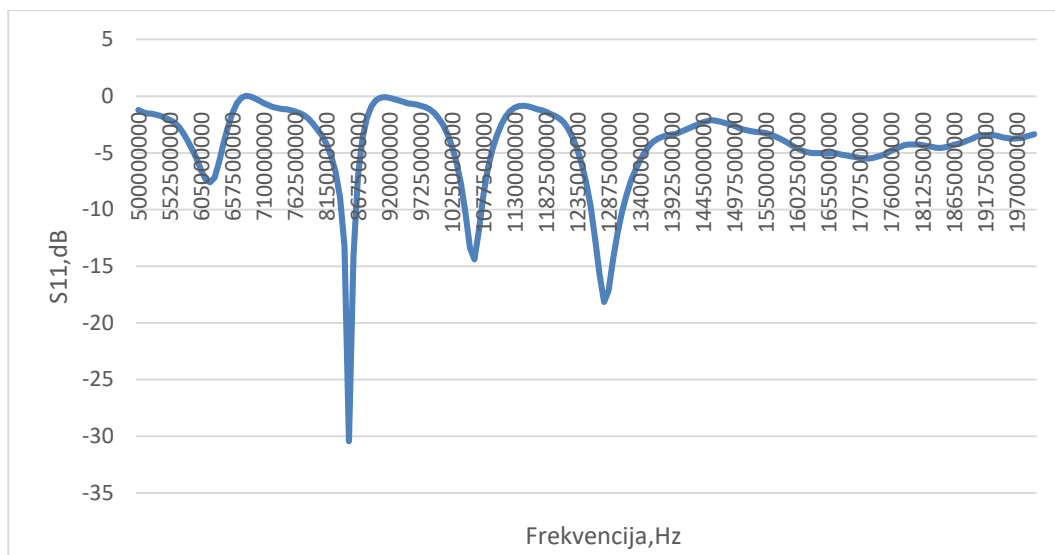
Na Sl.4.22. jasno se vidi šest frekvencijskih opsega unutar kojih vrijednost S11 pada ispod -10 dB. Prvi frekvencijski opseg je između 845 i 860 MHz gdje vrijednost S11 iznosi -18,44 na frekvenciji 853 MHz. Drugi frekvencijski opseg je između 950 i 973 MHz, unutar kojeg vrijednost S11 iznosi -15,12 na frekvenciji 965 MHz. Treći frekvencijski opseg je između 1,06 i 1,08 GHz gdje vrijednost S11 iznosi -13,9947 na frekvenciji 1.06 GHz. Četvrti frekvencijski opseg se nalazi između 1.18 i 1.2 GHz, gdje minimalna vrijednost S11 iznosi -12,22 na frekvenciji 1,19 GHz. Peti frekvencijski opseg je između 1,29 i 1,32 GHz, gdje minimalna vrijednost S11 iznosi -17,21 na frekvenciji 1.3 GHz. Šesti frekvencijski opseg se nalazi između 1,42 i 1,47 GHz, gdje minimalna vrijednost S11 iznosi -20,23 na frekvenciji 1,45 GHz. Minimalna refleksija ove antene se nalazi u šestom frekvencijskom opsegu, na frekvenciji 1.45 GHz i iznosi -20,23. Frekvencija 1,45 GHz je ujedno i radna frekvencija antene L8.



Sl.4.23. Ovisnost S11 parametra o frekvenciji za antenu L8R

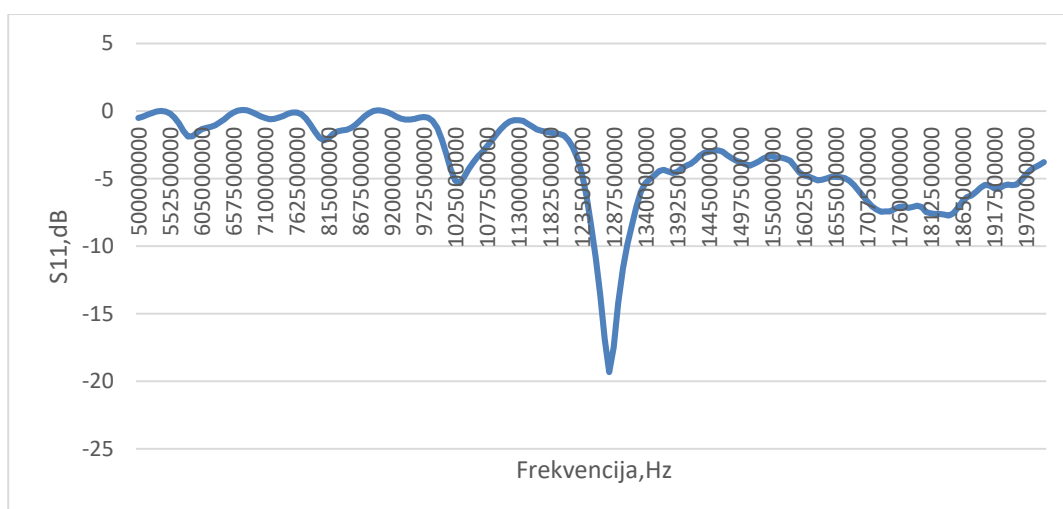
Pričvršćivanjem antene na reflektiranu površinu, smanjio se broj frekvencijskih opsega antene unutar kojih vrijednosti S11 padaju ispod -10 dB . Na Sl.4.23. vide se četiri frekvencijska opsega. Prvi frekvencijski opseg je između 1,29 i 1,31 GHz, unutar kojeg vrijednost S11 postiže vrijednost od -10,77 na frekvenciji 1,30 GHz. Drugi frekvencijski opseg je između 1,41 i 1,46 GHz, gdje S11 poprima minimalnu vrijednost od -25,16 na frekvenciji 1,44 GHz. Treći frekvencijski opseg je između 1,62 i 1,65 GHz, gdje je S11 minimalan na frekvenciji 1,63 GHz i iznosi -10,18. Četvrti frekvencijski opseg je između 1,81 i 1,84 GHz, unutar kojeg je S11 minimalan na frekvenciji 1,83 GHz i iznosi -11,03. Minimalna reflektirana vrijednost iznosi -25,16 te frekvencija 1,44 GHz predstavlja radnu frekvenciju ove antene.

Uspoređujući antene L8 i L8R može se zaključiti da se pričvršćivanjem antene L8 za neku reflektiranu površinu smanjuje broj frekvencijski opsega unutar kojih vrijednost S11 pada ispod -10 dB, no minimalna reflektirana vrijednost se povećava za L8R te iznosi -25,16.



Sl.4.24. Ovisnost S11 parametra o frekvenciji za antenu L5

Na Sl.4.24. vide se tri frekvencijska opsega, unutar kojih vrijednosti S11 padaju ispod -10 dB. Prvi frekvencijski opseg se nalazi između 838 i 868 MHz, unutar kojeg minimalna vrijednost S11 iznosi -30,43 na frekvenciji 853 MHz. Drugi frekvencijski opseg se nalazi između 1,04 i 1.08 GHz, unutar kojeg je vrijednost S11 minimalna na frekvenciji 1,06 GHz i iznosi -14,40. Treći frekvencijski opseg se nalazi između 1,26 i 1,32 GHz, unutar kojeg vrijednost S11 je minimalna na frekvenciji 1,28 GHz i iznosi -18,15. Minimalna reflektirana vrijednost iznosi -30,43 te se nalazi na frekvenciji od 853 MHz. Ta frekvencija je ujedno i radna frekvencija ove antene.



Sl.4.25. Ovisnost S11 parametra o frekvenciji za antenu L5R

Pričvršćivanjem antene L5 na neku reflektiranu podlogu smanjio se broj frekvencijskih opsega unutar kojeg vrijednost S11 parametra pada ispod -10 dB. Tako za antenu L5R na SL.4.25. imamo samo jedan frekvencijski opseg, unutar kojeg vrijednost S11 pada ispod -10 dB; taj frekvencijski opseg se nalazi između 1,25 i 1,31 GHz, unutar kojeg je vrijednost S11 minimalna na frekvenciji 1,28 GHz i iznosi -19,34. Frekvencija 1,28 je ujedno i radna frekvencija ove antene.

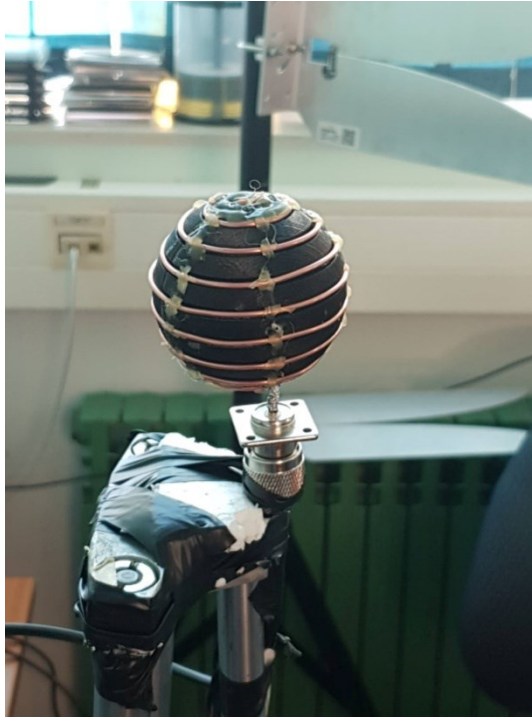
Uspoređujući antene L5 i L5R zaključuje se da pričvršćivanjem antene za neku reflektiranu površinu broj frekvencijskih opsega unutar kojih vrijednost S11 pada ispod -10 dB se smanjuje, kao što se i smanjuje minimalna reflektirana vrijednost. Za antenu L5 ona je iznosila -30,43 dok se pričvršćivanjem smanjuje na vrijednost od -19,34.

Kada bi smo uspoređivali sve četiri antene, najveću širinu opsega ima antena L8 sa šest frekvencijskih opsega, zatim antena L8R sa četiri frekvencijska opsega, nakon nje L5 sa tri frekvencijska opsega i L5R sa jednim frekvencijskim opsegom. Minimalna reflektirana vrijednost je izmjerena za antenu L5 te ona iznosi -30,43 na frekvenciji 853 MHz.

#### **4.2.4. Dijagram zračenja**

Jakost električnog polja je parametar koji govori o intenzitetu elektromagnetnog polja u nekoj točki prostora koja nastaje emitiranjem iz odašiljačke antene ili odašiljačkog sustava. Ukoliko mjerimo jačinu polja koju emitira odašiljačka antena pri čemu se krećemo po sferi oko nje i bilježimo izmjerene vrijednosti na polarnom grafikonu (jačina polja ovisi i o kutu koji zatvaraju antena i prijammnik), dobiti ćemo karakteristiku usmjerenosti antene. Usmjerenost predstavlja količinu energije usmjerene unutar nekog kuta u smjeru najjačeg zračenja u odnosu na sve druge smjerove [5].

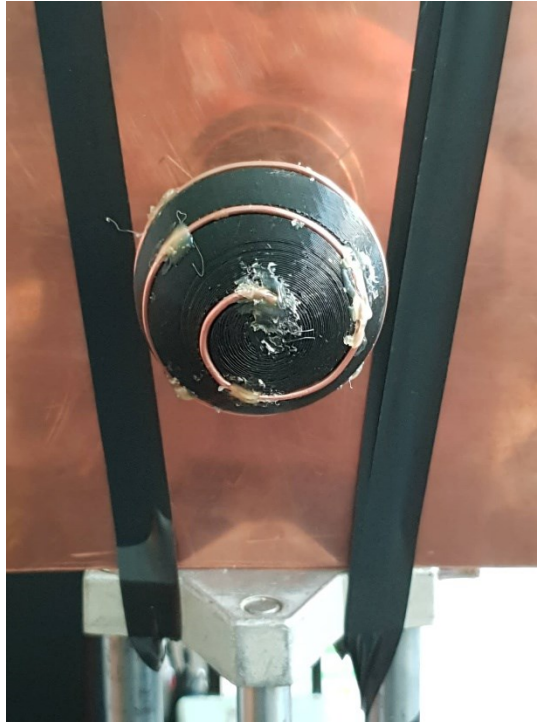
Jakosti električnog polja antene za pojedine modele loksodroma mjerene su u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Udaljenost između odašiljačke i prijemne antene iznosila je 110 cm. Visina na kojoj su se nalazile i odašiljačka, i prijamna antena je iznosila 142 cm. Frekvencije odašiljanja su bile 1,445 GHz za L8, 1,308 GHz za L8R, 1,853 GHz za L5 te 1,445 GHz za L5R. U ovisnosti o položaju antene mjerenja su izvršena u dva vertikalna položaja te jednom horizontalnom položaju.



Sl.4.26. Horizontalni položaj za L5



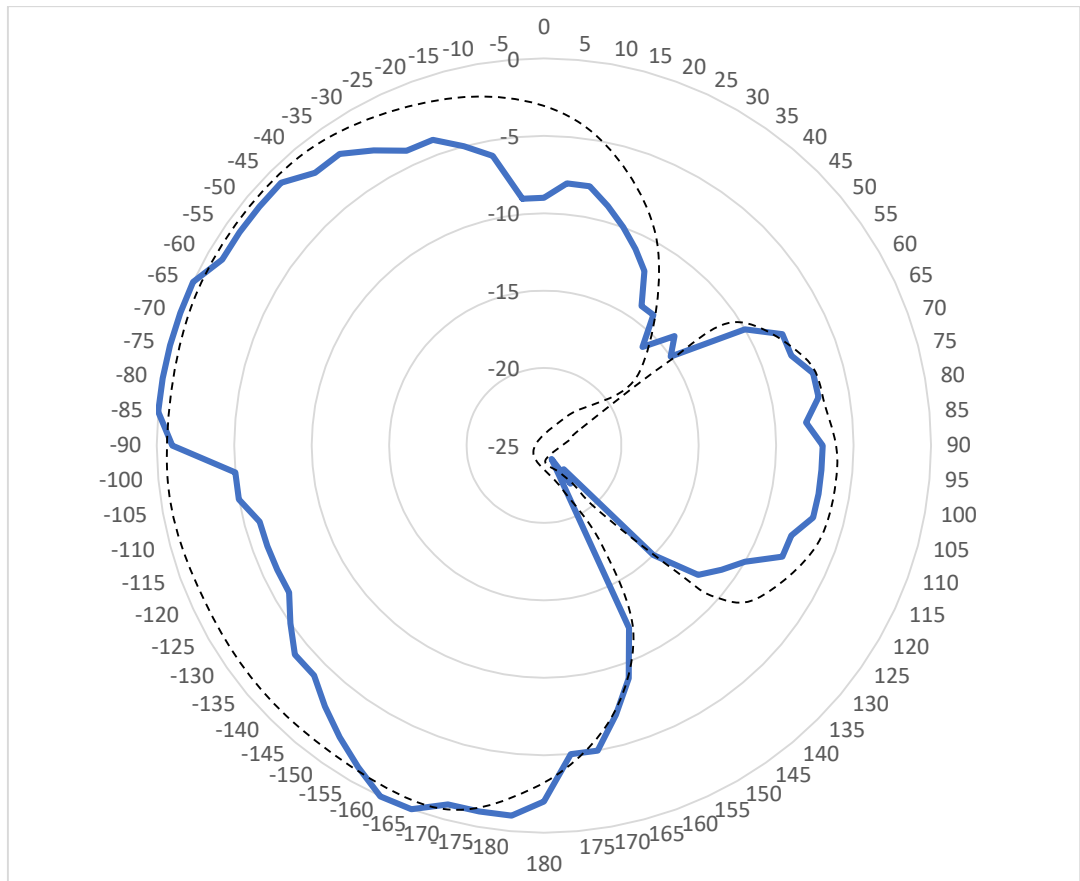
Sl.4.27. Vertikalni POLOŽAJ 1 za L8R



Sl.4.28. Vertikalni POLOŽAJ 2 za L8R

Za svaki pojedini model antena prikazani su rezultati mjerenja jakosti polja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini grafički polarnim dijagramom .

Mjerenje za jakost polja u horizontalnoj ravnini za antenu L5R bilo je napravljeno na udaljenosti 110 cm i na visini 142 cm. Frekvencija signala iznosila je 1,445 GHz.



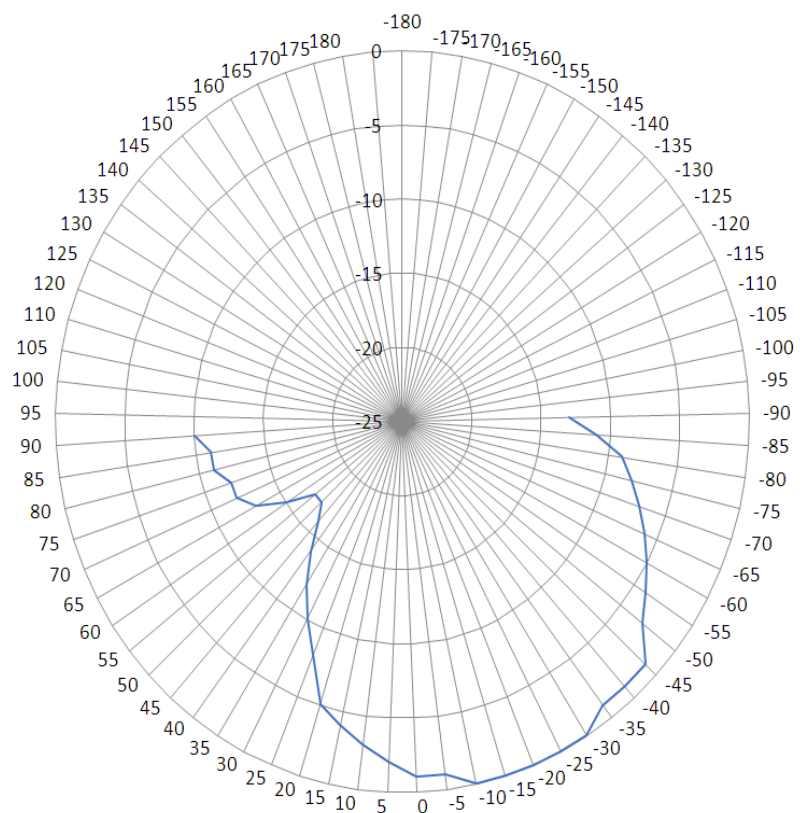
Sl.4.29. Polarni dijagram jakosti polja u horizontalnoj ravnini za L5R.  
(iscrtkani dijagram je pretpostavljeni teorijski dijagram)

Za polarni dijagram na Sl.4.29., kut usmjerenosti glavne latice iznosi 145 stupnjeva, budući da pravci iz ishodišta sijeku glavni smjer zračenja pod kutovima od -35 stupnjeva i 180 stupnjeva.





Sl.4.30. Mjerenja jakosti polja u vertikalnoj ravnini u laboratoriju za L5R (POLOŽAJ 1)

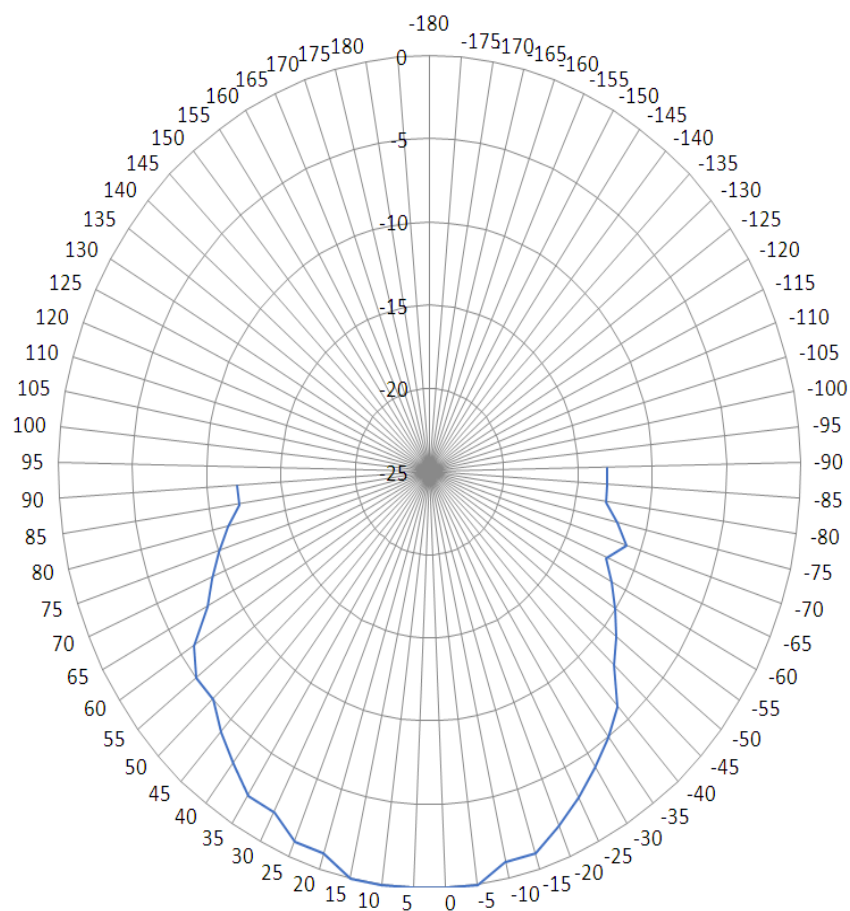


Sl.4.31. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L5R (POLOŽAJ 1)

Za polarni dijagram na Sl.4.31., maksimalni smjer zračenja je u smjeru kuta od  $-20$  stupnjeva dok je kut usmjerenosti  $55$  stupnjeva oko maksimalnog smjera zračenja antene. NAPOMENA: Mjerenja dijagrama zračenja u vertikalnim ravninama izvedena su u opsegu kuteva od  $-90^{\circ}$  do  $+90^{\circ}$ .



Sl.4.32. Mjerenje jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L5R (POLOŽAJ  
2)



Sl.4.33. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L5R (POLOŽAJ 2)

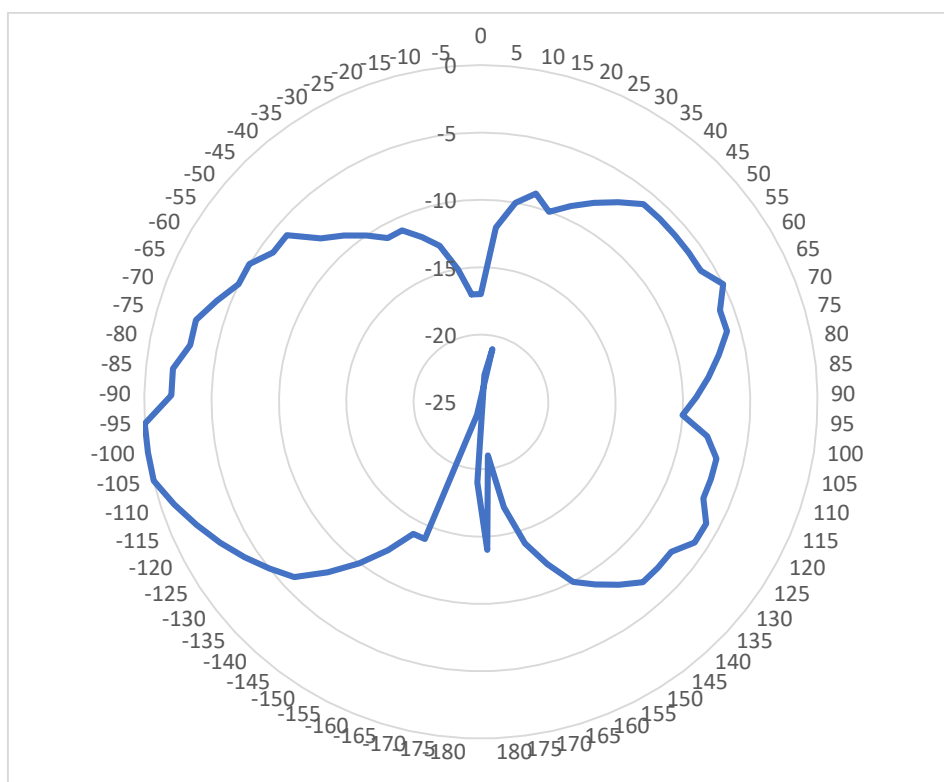
Za polarni dijagram na slici 4.33., smjer maksimalnog zračenja je 0 stupnjeva dok je kut usmjerenosti 60 stupnjeva oko maksimalnog smjera zračenja antene.

Mjerenje jakosti polja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini za antenu za većim brojem namotaja bez reflektora napravljeno je na istoj visini i udaljenosti kao i za slučaj sa L5R, kod kojeg je frekvencija signala iznosila 1,8525 GHz.

Ovakav zaključak je u potpunosti u skladu sa očekivanjima budući da je reflektor smješten upravo tako da se reflektira EM polje u aksijalnoj ravnini što ima za posljedicu usmjereni dijagram zračenja u vertikalnoj ravnini antene.

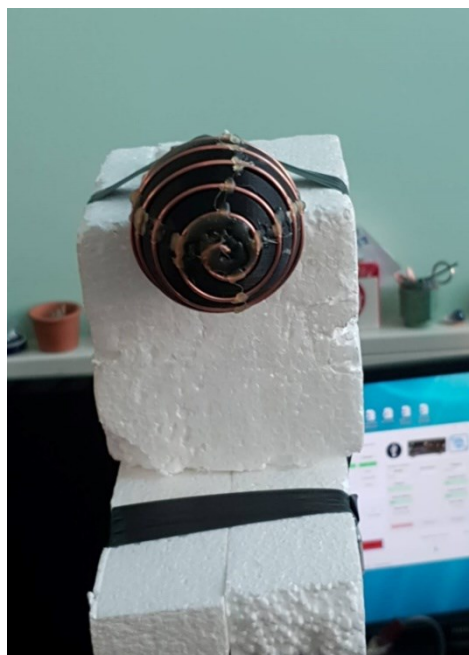


Sl.4.34. Mjerenje jakosti polja u horizontalnoj ravni u laboratoriju za L5

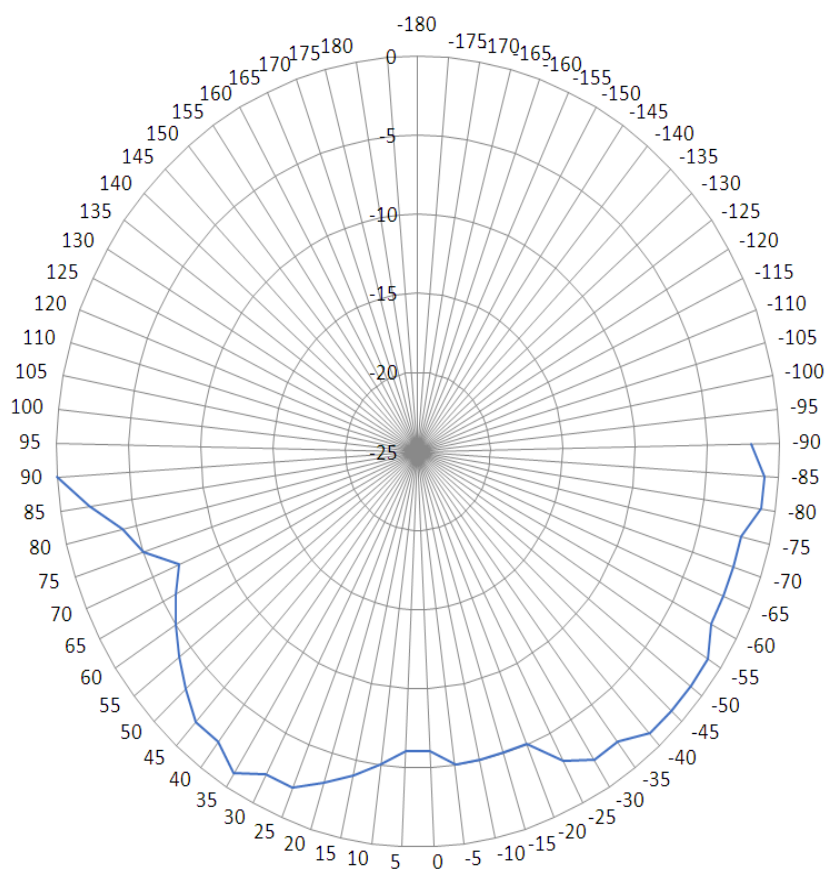


Sl.4.35. Polarni dijagram jakosti polja u horizontalnoj ravni za L5

Za polarni dijagram na Sl.4.35. smjer maksimalnog zračenja je -100 stupnjeva dok je kut usmjerenosti oko maksimalnog smjera zračenja antene približno 45 stupnjeva.



Sl.4.36. Mjerenje jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L5 (POLOŽAJ 1)

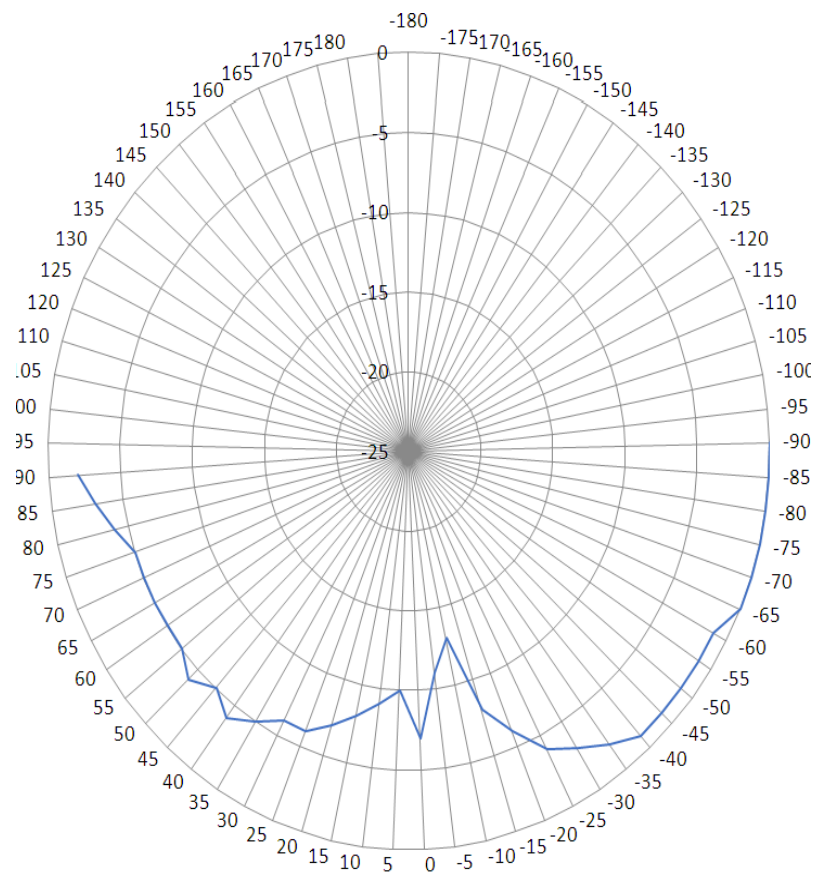


Sl.4.37. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L5 (POLOŽAJ 1)

Na polarnom dijagramu na Sl.4.37. vidljivo je da je kut usmjerenosti ove antene, uz pretpostavku približno ujednačenog dijagrama zračenja po prostornom kutu u opsegu od  $95^{\circ}$  do  $180^{\circ}$  te  $-180^{\circ}$  do  $-95^{\circ}$  (mjerjenje je izvedeno samo za opseg kuteva od  $-90^{\circ}$  do  $+90^{\circ}$ ), približno  $360^{\circ}$ , odnosno u vertikalnoj ravnini ova antena u položaju 1 ne pokazuje nikakvu usmjerenost.



Sl.4.38. Mjerenje jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L5 (POLOŽAJ 2)

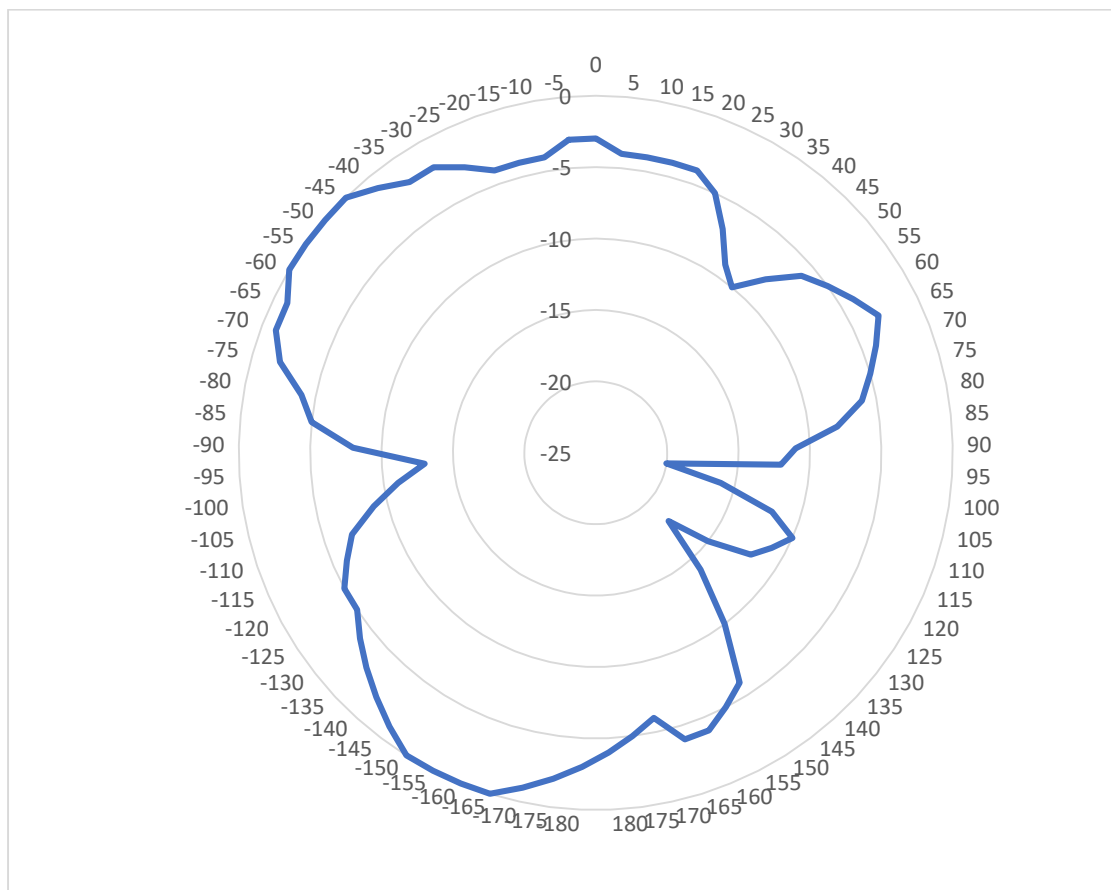


#### Sl.4.39. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L5 (POLOŽAJ 2)

Za polarni dijagram na Sl.4.39. također ne možemo govoriti o usmjerenom dijagramu zračenja.

Prema ovim rezultatima, a u skladu sa dobrom inženjerskom praksom mjerenja dijagrama zračenja, za ovaj dijagram bi se moglo zaključiti da loksodromska antena L5 u vertikalnoj ravnini ima neusmjeren dijagram zračenja.

Mjerenje jakosti polja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini za antenu sa malim brojem namota koja je pričvršćena za reflektor bilo je napravljeno na istoj udaljenosti i visini kao i za prethodne antene dok je frekvencija generatora signala bila 1,308 GHz.

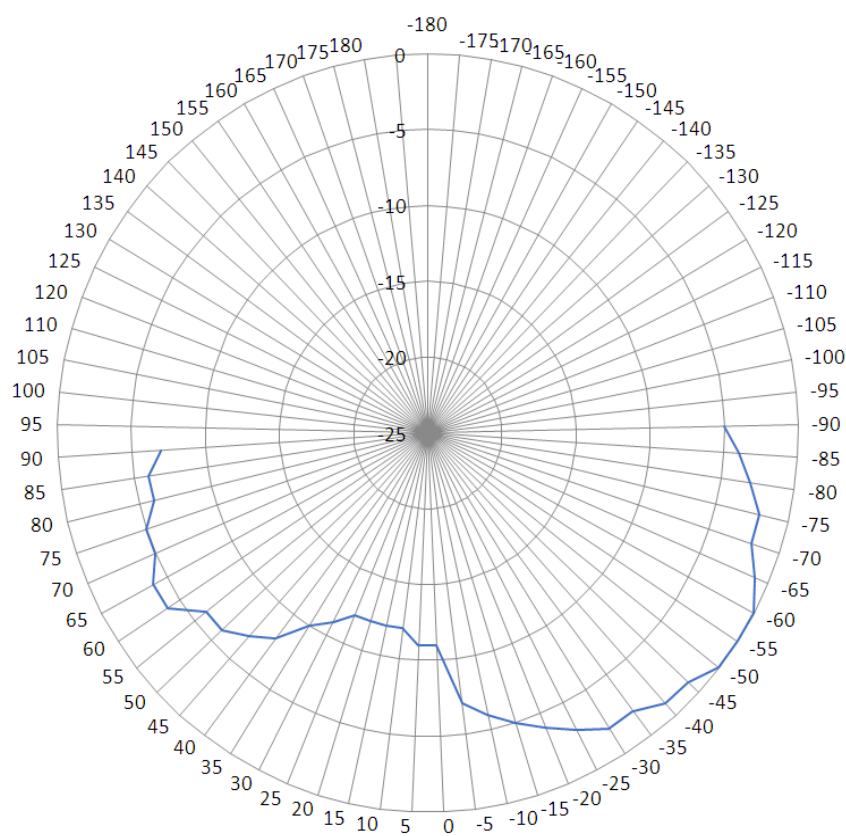


#### Sl.4.40. Polarni dijagram jakosti polja u horizontalnom smjeru za L8R

Za polarni dijagram na Sl.4.40. ne može se utvrditi glavna latica što upućuje na neusmjerenost dijagrama zračenja.



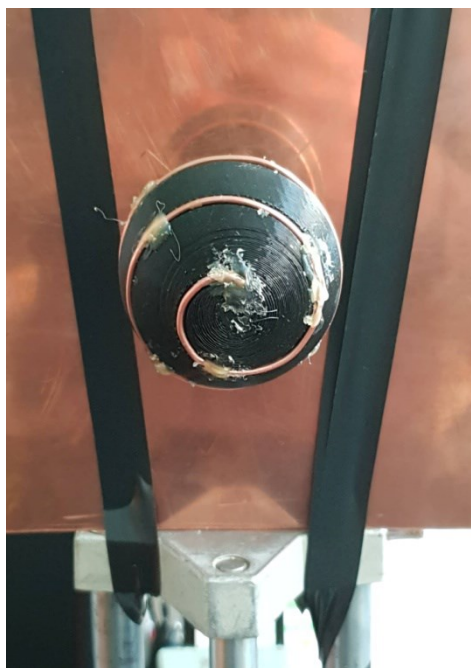
Sl.4.41. Mjerenje jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L8R (POLOŽAJ 1)



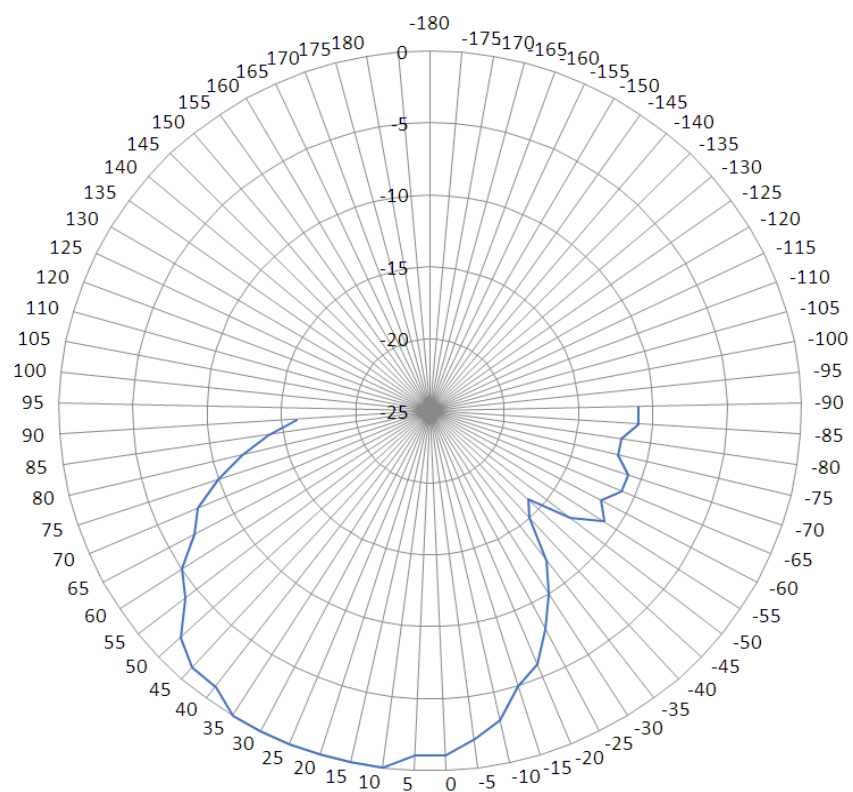
Sl.4.42. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L8R (POLOŽAJ 1)

Za polarni dijagram na Sl.4.42., smjer maksimalnog zračenja antene je -55 stupnjeva dok je kut usmjerenosti ove antene 60 stupnjeva. Ipak, ova antena pokazuje u azimutalnom opsegu kuteva od -90 do 90 stupnjeva dijagram zračenja sa dvije istaknute latice što implicira još latica u području azimutalnih kuteva koji nisu mjereni te je zaključak da ona ima neusmjeren dijagram zračenja.





Sl.4.43. Mjerenja jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L8R (POLOŽAJ 2)

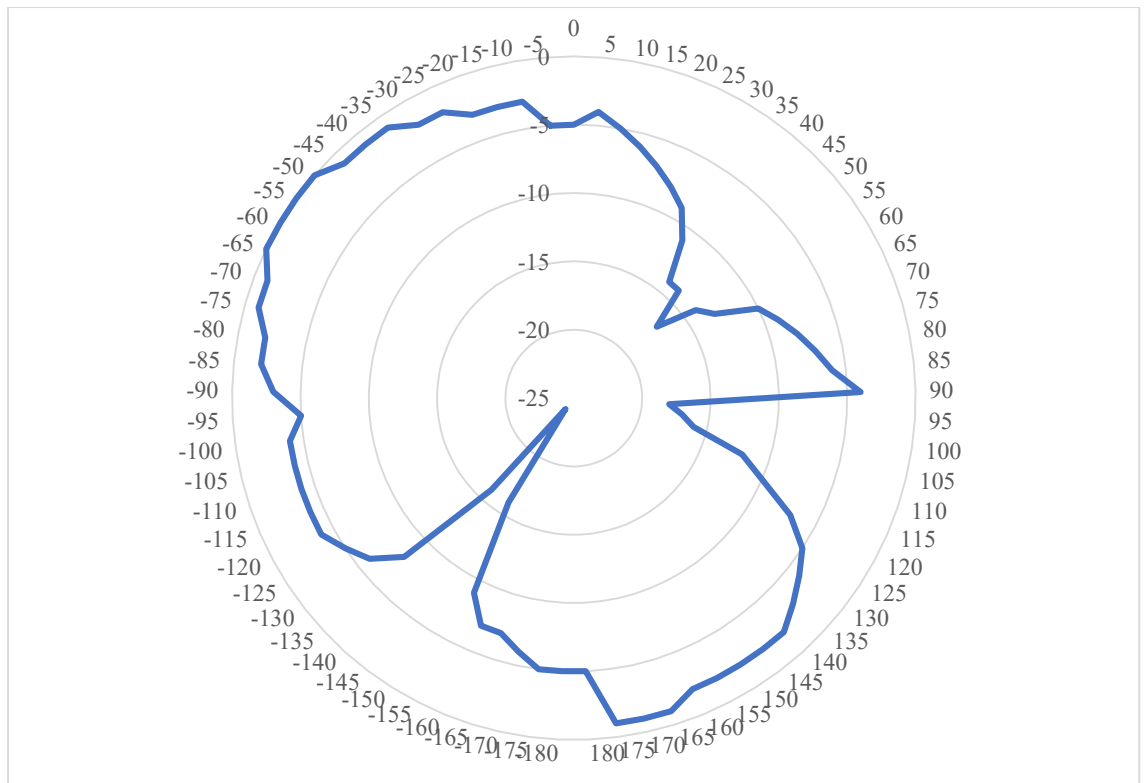


Sl.4.44. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L8R(POLOŽAJ 2)

Za polarni dijagram na Sl.4.44., smjer maksimalnog zračenja je 20 stupnjeva dok je kut usmjerenosti 55 stupnjeva. Mjerenje jakosti polja u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini za antenu sa manjim brojem namota koja nije pričvršćena za reflektor napravljeno je na istoj visini i udaljenosti kao i za ostale slučajeve, ali frekvencija generatora signala je iznosila 1,445 GHz.



Sl.4.45. Mjerenje jakosti polja u laboratoriju u horizontalnoj ravnini za L8

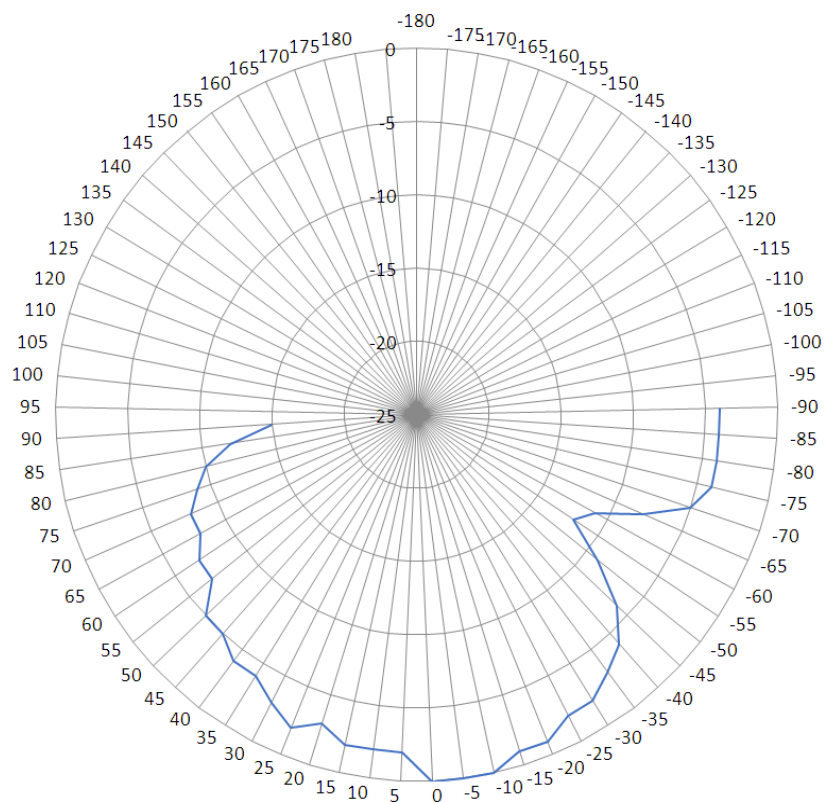


Sl.4.46. Polarni dijagram jakosti polja u horizontalnom smjeru za L8

Za polarni dijagram na Sl.4.46., smjer maksimuma zračenja antene je -55 stupnjeva dok je kut usmjerenosti ove antene 75 stupnjeva te drugi smjer oko 160 stupnjeva, sa kutem usmjerenosti oko 55 stupnjeva.



Sl.4.47. Mjerenje jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L8 (POLOŽAJ 1)

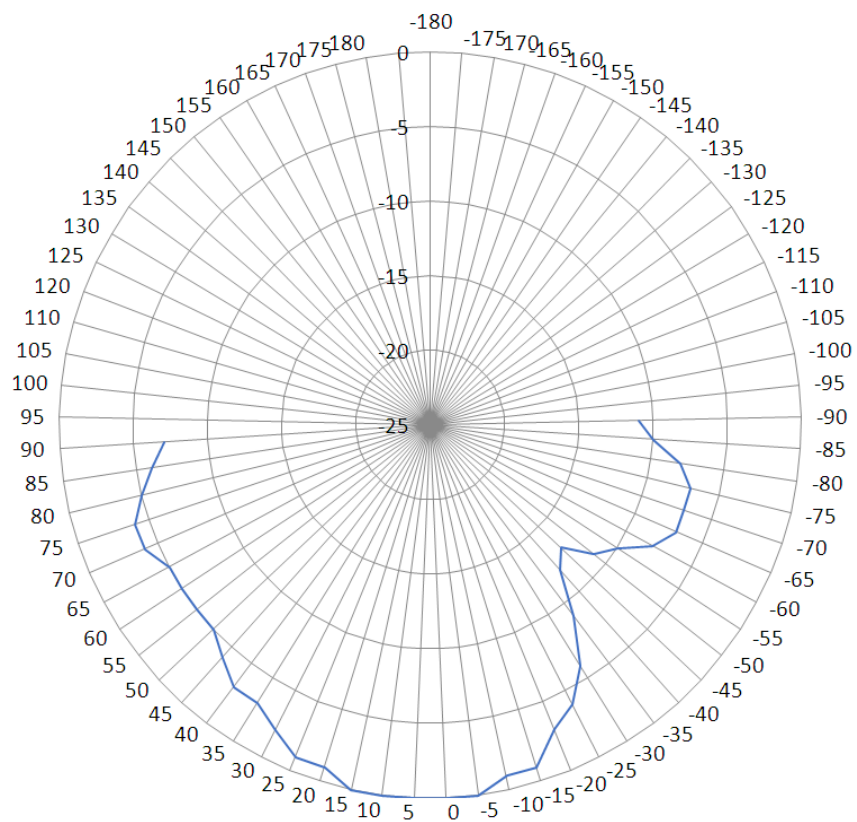


Sl.4.48. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L8 (POLOŽAJ 1)

Za polarni dijagram na Sl.4.48., smjer maksimalnog zračenja je oko 0 stupnjeva dok je kut usmjerenosti ove antene 60 stupnjeva.



Sl.4.49. Mjerenja jakosti polja u laboratoriju u vertikalnoj ravnini za L8 (POLOŽAJ 2)



Sl.4.50. Polarni dijagram jakosti polja u vertikalnoj ravnini za L8 (POLOŽAJ 2)

Za polarni dijagram na Sl.4.50., smjer maksimalnog zračenja je 0 stupnjeva dok je kut usmjerenosti 55 stupnjeva.

S obzirom na sve provedena mjerenja, veću usmjerenost imaju antene sa reflektorom ( L8R i L5R). S obzirom na broj namotaja, usmjerenije su antene koje imaju manji broj namota u odnosu na one sa većim brojem namota.

Tab. 4.1.Kutevi usmjerenosti svih analiziranih tipova loksodromskih antena

TIP ANTENE ( ravnina mjerenja)	KUT USMJERENO STI	AZIMUTALNI SMJER MAKSIMUMA GLAVNE LATICE  ( stupnjevi)	KOMENTAR
L5 (hor.)	50 <sup>0</sup> 45 <sup>0</sup> 45 <sup>0</sup>	+90 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>	DVIJE LATICE
L5 (ver. POL.1)	360 <sup>0</sup>	-	NEUSMJERENO
L5 (ver. POL.2)	360 <sup>0</sup>	-	NEUSMJERENO
L8 (hor.)	75 <sup>0</sup> 55 <sup>0</sup>	-55 <sup>0</sup> 160 <sup>0</sup>	DVIJE LATICE
L8 (ver. POL.1)	60 <sup>0</sup>	-55 <sup>0</sup>	JEDNA LATICE

<b>L8 (ver. POL.2)</b>	55 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	JEDNA LATICA
<b>L5R (hor.)</b>	145 <sup>0</sup>	-90 <sup>0</sup>	VELIKI KUT USMJERENOSTI
<b>L5R (ver. POL.1)</b>	55 <sup>0</sup>	-20 <sup>0</sup>	VELIKA USMJERENOST
<b>L5R (ver. POL.2)</b>	60 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	VELIKA USMJERENOST
<b>L8R (hor.)</b>	360 <sup>0</sup>	-	VIŠE LATICA NEUSMJERENO
<b>L8R (ver. POL.1)</b>	360 <sup>0</sup>	-	VIŠE LATICA NEUSMJERENO
<b>L8R (ver. POL.2)</b>	55 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	VELIKA USMJERENOST

Prema skupnim podacima iz tablice 4.1., a u vezi sa kutom usmjerenosti dijagrama zračenja analiziranih antena može se zaključiti slijedeće:

1. Antene L5R i L8R (označeno žutom bojom) imaju vrlo značajne kutove usmjerenosti (55<sup>0</sup> – 60<sup>0</sup>) u vertikalnoj ravnini. Antena L8 pokazuje dobru usmjerenost (kut usmjerenosti 55<sup>0</sup> – 60<sup>0</sup>) u vertikalnoj ravnini, ali bi za njih trebalo načiniti dodatna mjerenja u punom kutu u azimutalnom smjeru radi potvrđivanja usmjerenosti dijagrama zračenja ;
2. Antena L5 (označeno zelenom bojom) ima neusmjerene dijagrame zračenja (kut usmjerenosti 360<sup>0</sup>), vertikalnoj ravnini;

3. Antena L8R (označeno plavom bojom) ima dijagram zračenja sa više značajnih latica te se može zaključiti da se radi o neusmjerenosti dijagrama zračenja. Budući da ista antena u položaju 2 pokazuje mali kut usmjerenosti ( $55^0$ ), a usporedi li se ova antena u hor. ravnini sa L5R, može se zaključiti da je do dvojakog zaključka o anteni L8R (usmjerena – neusmjerena) došlo uslijed pogrešaka pri mjerenju radi velike refleksije u prostoru u kojem je mjerenje izvedeno. (Ova antena u vertikalnoj ravnini ima mali kut usmjerenosti, a u horizontalnoj veliki);
4. Antena L5R (označeno limun žutom bojom) u horizontalnoj ravnini ima velik kut usmjerenosti ( $145^0$ );
5. Antene L5 i L8 (označeno crvenom bojom) pokazuju dijagram zračenja sa dvije istaknute latice u horizontalnoj ravnini u opsegu azimutalnih kuteva od  $-180^0 - 180^0$ . Kutovi usmjerenosti ovih latica se kreću u opsegu od  $55^0$  do  $75^0$ .

**NAPOMENA:** Sve izmjerene tablične vrijednosti svih mjerenih parametara biti će priložene na CD-u.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom analizirana je loksodromska antena kao varijacija helikoidalne antene kod koje je radijus podloge (dielektričnog tijela) promjenjiv – sfernog oblika. S obzirom na sva izvršena mjerenja bitnih parametara antena, utvrđeno je da najveću širinu frekvencijskog pojasa koja je ispitivana prema VSWR-a ima antena L8 (8 opsega ukupne širine opsega od 213 MHz), a nakon nje antena L8R (6 opsega ukupne širine opsega od 198 MHz) dok je širina frekvencijsko opsega antena L5 i L5R manja od ranije navedenih (za L5 iznosi 155 MHz te 139 MHz za L5R) te se može zaključiti da se povećavanjem broja namota smanjuje širina pojasa antena. Iz ulazne impedancije i VSWR utvrđeno je da je najbolje prilagođena antena L8, a zatim L8R, dok se povećavanjem broja namota smanjuje i narušava prilagođenje antene. Ispitivanjem je također utvrđeno da bolje prilagođenje ima antena L5R u odnosu na istu antenu bez reflektora. Osim širine opsega rada i prilagođenja antene, ispitivanjem se utvrdilo da veću usmjerenost imaju antene koje imaju reflektirajuću površinu pa tako najveću usmjerenost imaju antene L5R i L8R u vertikalnoj ravnini. Nakon novih antena, najmanje kutove usmjerenosti pokazuju antene L8 i L5 u horizontalnoj ravnini.

Ispitivanja loksodromskih antena mogla bi se nastaviti optimiranjem svih parametara podložnih optimizaciji: dimenzija podloge (radijus), kut loksodroma, promjer vodiča, dimenzije reflektora, udaljenost reflektora i dr., ali isto tako i optimiranjem pobude kao i pozicije i načina pobuđivanja. Osim toga daljnja ispitivanja bi se trebala načiniti radi određivanja svih drugih parametara ovih antena kao što su: polarizacija, dobitak i faktor antene. Važno je naglasiti da bi se ta ispitivanja trebala izvesti za svaki od modova rada ovog tipa antene.

Ove antene bi se mogle koristiti u svim onim primjenama u kojima je važno imati usmjerenost dijagrama zračenja (u vertikalnoj ravnini) i veliku širinu frekvencijskog opsega rada (ili rad na više opsega).



## 6. LITERATURA

- [1] Constantine A., Balanis, Antenna Theory Analysis And Design, John Wiley&Sons, New Jersey, 2005.
- [2] John D, Kraus, Antennas, McGraw-Hill, Ohio State University, 1988.
- [3] Odnos stojnih valova: <http://www.crowave.com/blog/2017/02/03/mjerenja-na-antenama-swr-pwr-fs-modulation/> [10.01.2019].
- [4] Koeficijent refleksije: <http://www.antenna-theory.com/definitions/sparameters.php> [07.02.2019].
- [5] Wikipedia: [https://sh.wikipedia.org/wiki/Mjerenje\\_ja%C4%8Dine\\_polja](https://sh.wikipedia.org/wiki/Mjerenje_ja%C4%8Dine_polja) [02.02.2019].
- [6] Helikoidalna antena: [https://www.tutorialspoint.com/antenna\\_theory/antenna\\_theory\\_helical.htm](https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_helical.htm) [02.02.2019].
- [7] Signal generator : <https://www.dsinestruments.com/store/products/12ghz-rf-signal-generator-usb-ethernet-oled/> [02.02.2019].
- [8] Antena Hyperlog 60100 : <https://www.aaronia.com/products/antennas/HyperLog-60100-wide-band-antenna/> [02.02.2019].
- [9] Keysight N9914A : <https://www.keysight.com/en/pdx-x201924-pn-N9914A/fieldfox-handheld-rf-analyzer-65-ghz?cc=HR&lc=eng> [02.02.2019].

## 7. SAŽETAK

Ovaj rad se bavi loksodromskom antenom odnosno njezinim glavnim parametrima. Loksodromska antena predstavlja varijaciju helikoidne antene sa promjenjivim radijusom podloge. Napravljena su dva modela loksodromske antene u dvije varijante (antena je pričvršćena za reflektirajuću površinu i antena nije pričvršćena za reflektirajuću površinu). Ti se modeli razlikuju po broju namota te kutu nagiba dok je radijus sfere jednak za oba dva modela. Na svakom modelu antena izvršeno je po jedno mjerenje u horizontalnoj ravnini te po dva mjerenja u vertikalnoj ravnini

ovisno o položaju antene. Mjerenjima odnosa stojnih valova VSWR, koeficijenta refleksije S11, jakosti električnog polja i impedancije antene, utvrđeno je da bolje karakteristike pokazuje model sa manjim brojem namota pa tako taj model ima veću ukupnu širinu opsega i prilagođenje impedancije. Veću usmjerenost imaju antene koje su izvedene sa reflektirajućom površinom.

### **Ključne riječi**

loksodrom, loksodromska antena, helikoidna antena, VSWR, S11, jakost električnog polja, impedancija antene.

## **MEASUREMENTS OF THE LOXODROMIC ANTENNA PARAMETERS**

### **ABSTRACT**

This paper deals with loxodromic antenna or its main parameters. Loxodromic antenna is a variation of helix antenna with a variable radius of substrate. Two models of loxodromic antenna have been made in two variants (the antenna is attached to a reflecting surface and the antenna is not attached to a reflecting surface). These models are different by the number of windings and the angle of inclination while the radius of sphere is the same for both models. The measurements of VSWR, S11 reflection coefficient, electric field strength and the input impedance of antenna show that the model with a smaller number of windings has the highest broadband and best impedance matching. Antennae attached to reflecting surface have better directivity. On each antenna model, one measurement was made in a horizontal position and two measurements were made in a vertical position depending on the position of the antenna.

### **Keywords**

loxodrom, loxodromic antenna, helix antenna, VSWR, S11, electric field strength, antenna impedance

## **8. ŽIVOTOPIS**

Ante Anić rođen je 14.11.1994 godine u Osijeku. Osnovnu školu pohađao je u Osnovnoj školi Ljudevita Gaja u Osijeku te nakon završenih svih osam razreda upisuje 1. gimnaziju u Osijeku. Paralelno sa osnovnom školom pohađao je i glazbenu školu Franje Kuhača te je završio smjer

gitara. Nakon završene srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Tamo postiže mnogobrojne uspjehe te nakon završene tri godine uspješnog studiranja preddiplomskog studija elektrotehnike, dobiva titulu prvostupnika. Nakon završene tri godine, upisuje i Diplomski studij elektrotehnike, smjer komunikacije i informatika te ga uspješno završava. Osim fakultetskih obaveza bavi se sportom pa tako predstavlja Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera na međunarodnoj Univerzijadi u Zagrebu gdje postiže odličan rezultat. Osim fakultetskih i sportskih obaveza bavi se glazbom i svakodnevnim aktivnostima. Fluidno govori njemački i engleski jezik koje je učio za vrijeme srednjoškolskog obrazovanja kao i za vrijeme studiranja preddiplomskog studija elektrotehnike. Osim naučenih jezika, osposobljen je za korištenje svih Microsoftovih alata ( MS Word, MS Excel i dr.), te posjeduje znanja iz programiranja baza podataka te web programiranja.