



Univerza *v Ljubljani*
Fakulteta *za elektrotehniko*

Samostojni projekt pri predmetu Antene in razširjanje valov

Izdelava antene – poročilo

16. januar 2019

Peter Kmecl

Vsebina

1. Uvod.....	3
2. Izdelava nosilca	4
2.1. Program »Yagi Calculator«.....	4
2.2. Tabele NBS	6
3. Izdelava dipola	8
3.1. Zaviti dipol.....	8
3.2. Simetriranje.....	9
3.2.1. Četrtna zanka.....	9
3.2.2. Powseyjev element za simetriranje	10
3.2.3. Četrtni lonček	10
4. Meritve.....	11
4.1. Meritve prilagoditve antene	11
4.2. Meritve smernega diagrama antene	12
5. Zaključek	18
6. Viri	18

1. Uvod

V sklopu predmeta Antene in razširjanje valov smo imeli priložnost izdelati anteno, ter izmeriti njeno frekvenčno karakteristiko in smerni diagram. Odločil sem se, da bom naredil anteno tipa Yagi-Uda s petnajstimi elementi (13 parazitnih direktorjev, 1 aktivni element – dipol, 1 reflektor) za frekvenco 2,4GHz (WiFi b/g/n).

Izdelal sem dva buma, enega po izračunih programa »Yagi calculator«, drugega po tabelah NBS (http://antena.fe.uni-lj.si/literatura/ar/NBS%20tabele_Nist-688.pdf), ter tri dipole, ki so se večinoma razlikovali le po simetričnem elementu. Antene so narejene modularno, tako da se lahko na poljuben bum pritrdi poljuben dipol. Antene so večinoma narejene iz aluminija, medenine, bakra ter vitroplasta.

2. Izdelava nosilca

Bum je narejen iz aluminijastega profila dimenzij 10x10mm. Dolžini nosilcev se nekoliko razlikujeta zaradi različnih izračunov programa ter tabel, oba pa sta nekoliko daljša od 0,5m. V bum so pritrjeni direktorji ter reflektor narejeni iz medenine.

2.1. Program »Yagi Calculator«

Za izračun prvega nosilca sem uporabil program »Yagi calculator«, ki je dostopen preko spletne strani <http://www.vk5dj.com/yagi.html>. V program lahko vnesemo željene parametre Yagi – Uda antene, ta pa nam vrne izračune za dipol, dolžine ter razmake parazitnih elementov in načrt za balun (BALanced to UNbalanced).

The screenshot shows the 'Design Yagi' software interface. The main window is titled 'Entry screen for yagi details'. It contains several input fields and a list of coaxial cable options.

Input fields and values:

- Frequency in MHz: 2400
- Number of directors: 13
- Diameter of dipole bend mm: 25
- Cross-section of boom mm: 10
- Dipole gap at feed point mm: 5
- Boom type: Square section, Round
- Construction of directors/reflector: Round, Square, Flat ribbon
- Directors/Reflector mounting: bonded through metal boom, insulated through metal boom, non metal boom (or standoffs)
- Diameter of element (mm): 4
- Construction of Dipole: Round, Square, Flat ribbon
- Folded Dipole mounting: Same as Dir/Reflector, Fully insulated
- Diameter of element (mm): 2

A list of coaxial cable options is shown on the left, with 'RG-58 (PE) 53.5 ohm' selected. Other options include RG-6, RG-8, RG-9, RG-11, RG-12, RG-17, RG-17A, RG-55, RG-55A, RG-55B, RG-58, RG-58A, RG-58B, RG-58C, RG-59, and RG-59 (foam PE).

Buttons for 'Calculate' and 'Back' are located at the bottom right. The version number 'Version 2.6.18 Copyright 2003-2015' is displayed at the bottom left.

Slika 1: Parametri vnešeni v program Yagi calculator

Yagi Results

Help

Yagi Calculator

REFLECTOR
63.6 mm long at boom position = 30 mm (IT = 27.0 mm)

RADIATOR
Single dipole 57.6 mm tip to tip, spaced 25 mm from reflector at boom posn 55 mm (IT = 24.0 mm)
Folded dipole 58.7 mm tip to tip, spaced 25 mm from reflector at boom posn 55 mm (IT = 24.5 mm)

DIRECTORS

Dir (no.)	Length (mm)	Spaced (mm)	Boom position (mm)	IT (mm)	Gain (dBd)	Gain (dBi)
1	53.5	9.4	54.4	21.5	4.8	6.9
2	52.7	22.5	86.8	21.5	6.5	8.6
3	51.9	26.9	113.7	21.0	7.8	9.9
4	51.2	31.2	144.9	20.5	8.9	11.0
5	50.5	35.0	179.9	20.5	9.8	11.9
6	49.9	37.5	217.4	20.0	10.5	12.7
7	49.3	39.9	256.7	19.5	11.2	13.3
8	48.8	41.2	297.9	19.5	11.7	13.9
9	48.3	43.1	341.0	19.0	12.2	14.4
10	47.9	45.0	386.0	19.0	12.7	14.9
11	47.5	46.8	432.8	18.5	13.1	15.3
12	47.1	48.1	480.9	18.5	13.5	15.7
13	46.7	48.7	529.7	18.5	13.8	16.0

COMMENTS
The abbreviation "IT" means "Insert To", it is the construction distance from the element tip to the edge of the boom for through boom mounting
Spacings measured centre to centre from previous element
Tolerance for element lengths is +/- 0 mm
Boom position is the mounting point for each element as measured from the rear of the boom and includes the 30 mm overhang. The total boom length is 560 mm including two overhangs of 30 mm
The beam's estimated 3dB beamwidth is 32 deg
A half wave 4:1 balun uses 0.66 velocity factor RG-58 (PE) and is 41 mm long plus leads
FOLDED DIPOLE CONSTRUCTION
Measurements are taken from the inside of bends
Folded dipole length measured tip to tip = 58mm
Total rod length = 141mm
Centre of rod = 71mm
Distance BC = CD = 17mm
Distance HI = GF = 14mm
Distance HI = GE = 34mm
Distance HB = GD = 54mm
Distance HC = GC = 71mm
Gap at HG = 5mm
Bend diameter BI = DF = 25mm

Print results

Create Y0

Create .maa

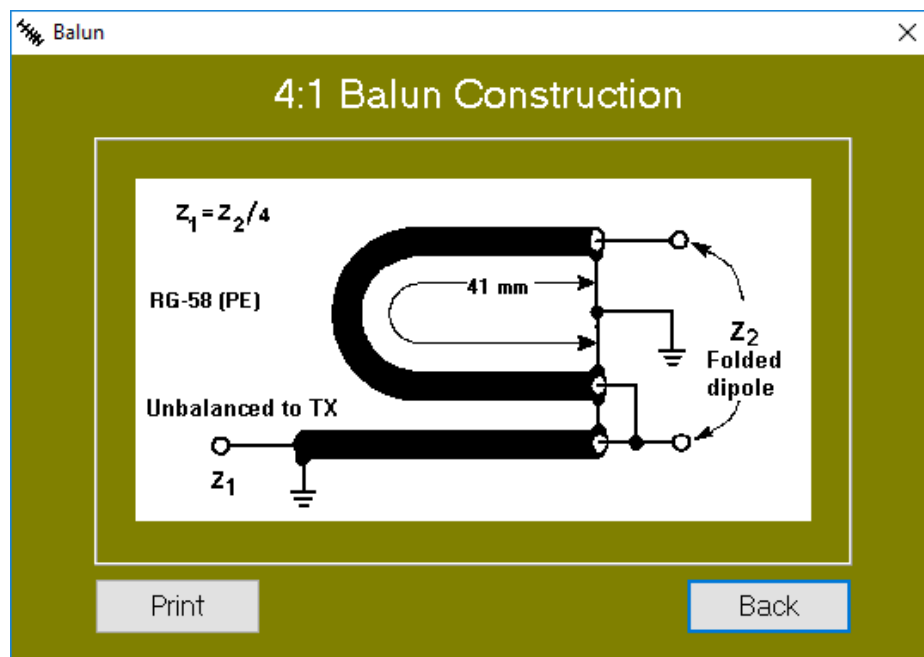
Balun

Back

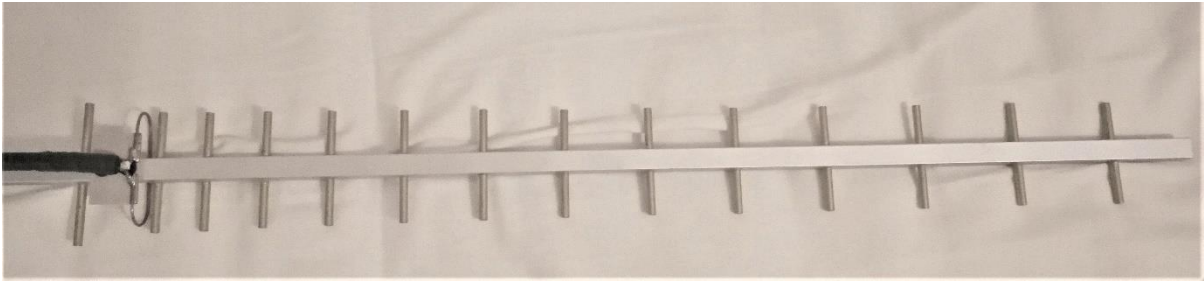
Folded dipole measuring points

Version 2.6.18 Copyright 2003-2015

Slika 2: Izračuni pridobljeni s programom Yagi Calculator



Slika 3: Načrt za četrtvalni balun programa Yagi calculator



Slika 4: Antena izračunana s programom Yagi calculator, pogled od zgoraj

Kot je vidno iz priloženih slik, poda program neenakomerne razdalje med parazitnimi elementi. Elementi so na bum pritrjeni z epoksidnim dvokomponentnim lepilom.



Slika 5: Antena izračunana s programom Yagi calculator, pogled s strani

2.2. Tabele NBS

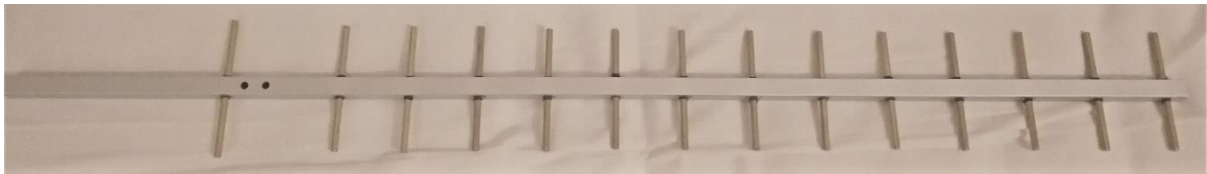
Za izračun drugega nosilca sem uporabil tabele ter grafe NBS (National Bureau of Standards) za izračun Yagi-Uda anten (http://antena.fe.uni-lj.si/literatura/ar/NBS%20tabele_Nist-688.pdf). Tabele za razliko od programa podajo konstanten razmak med parazitnimi elementi. Priloženi grafi se lahko uporabijo za izračun priporočene debeline parazitnih elementov ter priporočene kompenzacije dolžine elementov potrebne pri prevodnem nosilcu.

lambda	12,5	Popravek v lambda	0,15
--------	------	-------------------	------

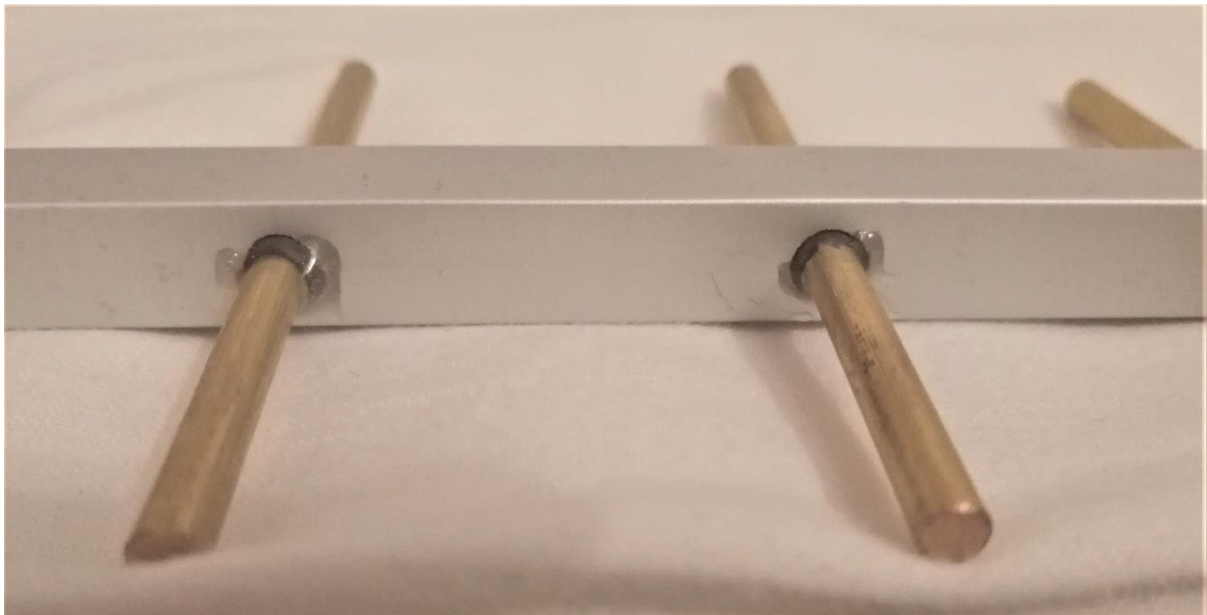
Tabela 1: valovna dolžina v centimetrih ter popravek parazitnih elementov v lambda

Dolžina antene	4,2	52,5
Reflektor	0,475	7,8125
Oddaljenost R od dipola	0,2	2,5
Direktor 1	0,424	7,175
Direktor 2	0,424	7,175
Direktor 3	0,42	7,125
Direktor 4	0,407	6,9625
Direktor 5	0,403	6,9125
Direktor 6	0,398	6,85
Direktor 7	0,394	6,8
Direktor 8	0,39	6,75
Direktor 9	0,39	6,75
Direktor 10	0,39	6,75
Direktor 11	0,39	6,75
Direktor 12	0,39	6,75
Direktor 13	0,39	6,75
Oddaljenost med direktorji	0,308	3,85

Tabela 1: izračunane vrednosti v lambda (levo) in centimetrih (desno)



Slika 6: Antena izračunana s tabelami NBS, pogled od zgoraj



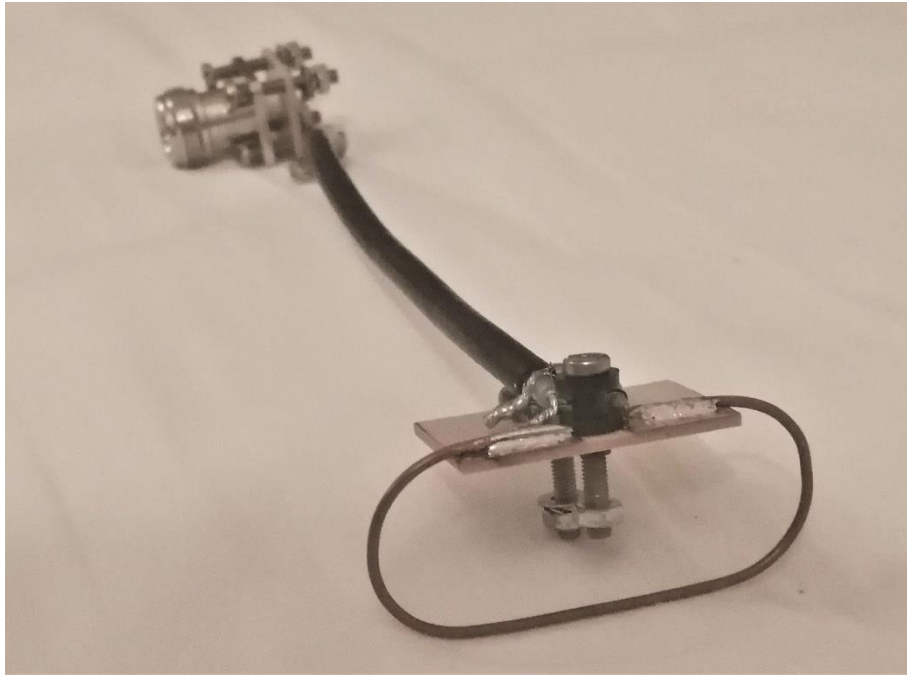
Slika 7: Antena izračunana s tabelami NBS, pogled s strani

Parazitni elementi so pri tej (novejši) izvedbi popolnoma izolirani s toplotno skrčljivo izolacijo.

3. Izdelava dipola

3.1. Zaviti dipol

Za sevalni element sem si izbral zaviti polvalni dipol. Vse verzije dipola so narejene iz bakrene žice s premerom 2,1mm in pritrjene na anteno s ploščico vitroplasta. Prva iteracija, narejena po načrtu programa Yagi calculator je bila prevelika v vseh dimenzijah. Če jo primerjamo z načrti iz knjige Antene avtorja Karl Rothamel vidimo, da tudi ne upošteva navedenega maksimalnega razmika med dipoloma $d < 0,05 * \lambda$.



Slika 8: Prva iteracija dipola

Problemi s prvo iteracijo so bili v narobe dimenzioniranem dipolu in balunu ter napačno pritrditvijo konektorja. Predvidevam, da je smerni diagram prve iteracije neusmerjen predvsem zaradi baluna in pritrditve (zaradi narobe dimenzioniranega baluna lahko oklop začne sevati, ta pa je bil prevodno pritrjen na bum).



Slika 9: Primerjava druge iteracije z Pawseyjevim elementom (levo) ter prve iteracije (desno)

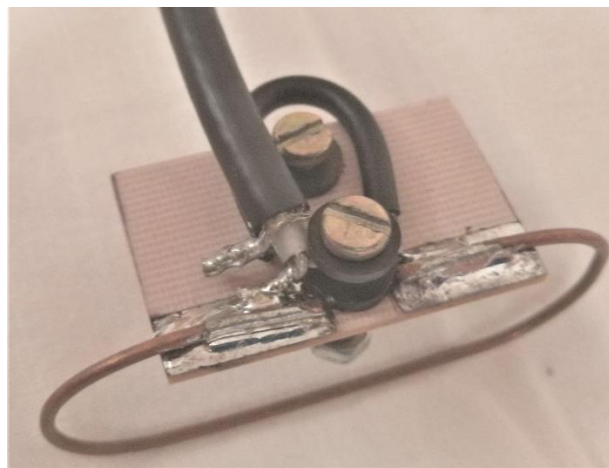
Drugi dipol je mnogo bolje dimenzioniran, vendar pa je smerni diagram še vseeno neidealno. Za izboljšavo smernega diagrama je potrebno nadaljnje eksperimentiranje s tipom in dimenzijami baluna.

3.2. Simetriranje

Pri simetričnih dipolih pride do težav če jih napajamo z nesimetričnim vodom. Primer nesimetričnega voda je koaksialni kabel, ki ima eno signalno žilo in ozemljen oklop. Če se simetrični dipol napaja prek nesimetričnega vira začne oklop sevati, kar popolnoma pokvari smerni diagram antene. Ta problem lahko odpravimo s simetričnimi transformatorji ali baluni (BALanced to UNbalanced), ki pretvorijo nesimetrično napajalno linijo v simetrično.

3.2.1. Četrtna zanka

Pri prvi iteraciji sem uporabil četrtvalni zankni balun, ki se je izkazal za neefektivnega. Po nadaljnjih raziskavah sem ugotovil, da se z zavitim dipolom večinoma uporablja polvalno zanko (te še nisem poskusil, vendar je v planu).



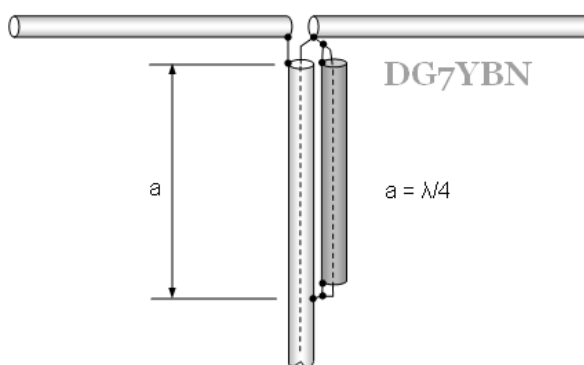
Slika 10: četrtvalni zankni balun

3.2.2. Powseyjev element za simetriranje

Pri powseyjevem elementu za simetriranje se vzporedno glavnemu kablju veže na oklop še enak koaksialni kabel dolžine $\lambda/4$. Oklop in žila sta na obeh straneh kratko sklenjena. Drugi del elementa je pritrjen na dipol tik ob žili napajalnega kabla. Moja implementacija tega elementa se ni obnesla (mi še ni znano, če je razlog v nenatančnosti izdelave ali kratkemu stiku, ki bi se lahko zgodil nenamerno med spajkanjem). Dipol s tem elementom sploh ni seval oziroma sprejemal.



Slika 11: moja implementacija Powseyjevega elementa



Slika 12: Načrt Powseyjevega elementa

3.2.3. Četrtni lonček

Ta izvedba se je v mojem primeru izkazala za najboljšo. Načeloma je narejena iz prevodnega lončka, pritrjenega na oklop kabla, četrtn valovne dolžine od priklopa na dipol. Moja implementacija je nekoliko drugačna. Narejena je iz žice UTP parice, ovite okoli koaksialnega kabla, ter zaspajkana skupaj na večih mestih, tako, da ustvari nekakšno kletko okoli koaksialnega kabla.

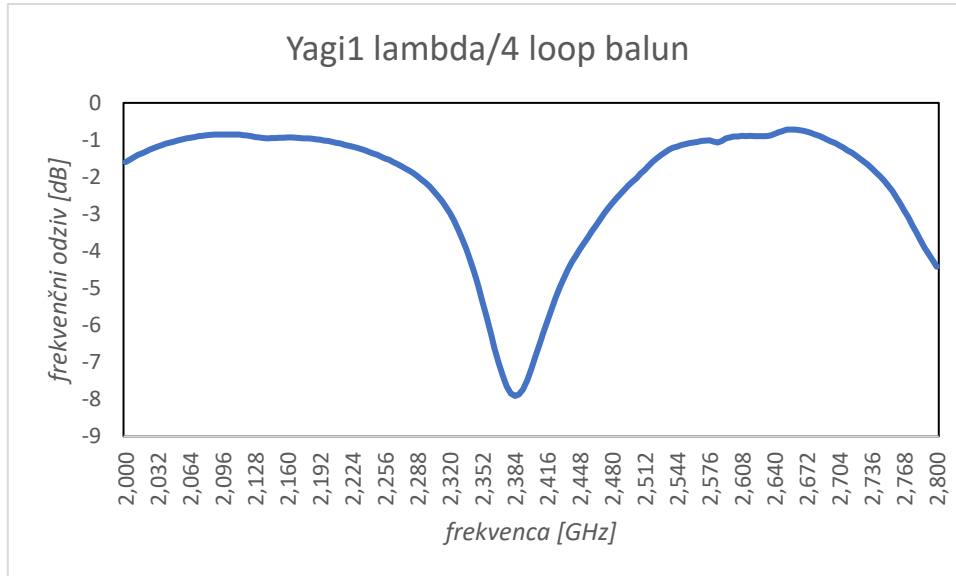


Slika 13: moja implementacija četrtnega lončka

4. Meritve

Meritve sem opravljal v laboratoriju za sevanje in optiko na fakulteti za elektrotehniko. Prilagoditev antene smo merili z vektorskim analizatorjem, smerni diagram pa s pomočjo merilnega sistema sestavljenega iz vrtiljaka, lock-in sprejemnika, visokofrekvenčnega vira ter računalnika z merilno python skripto.

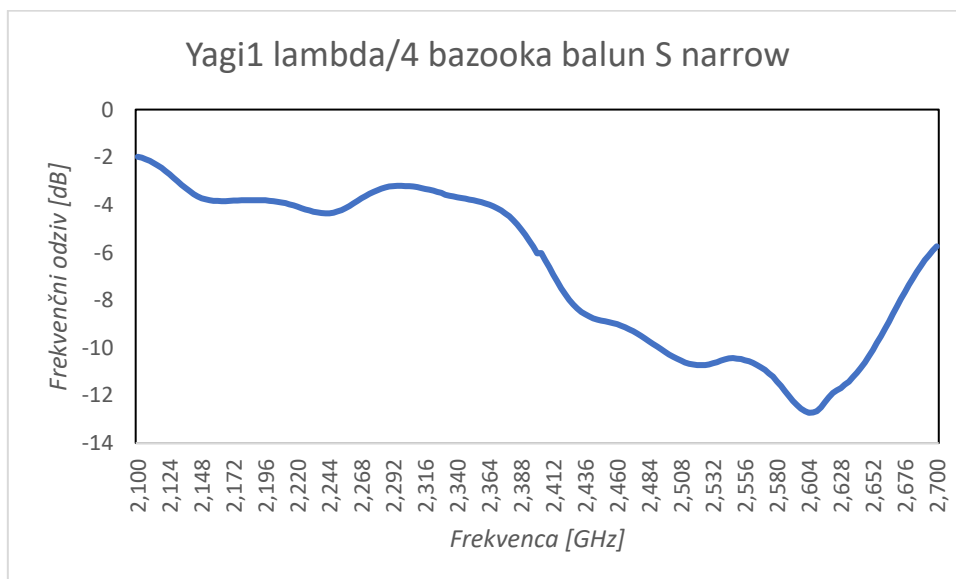
4.1. Meritve prilagoditve antene



Slika 14: Odziv antene z nosilcem izračunanim s programom in dipolom s četrtvalno zanko

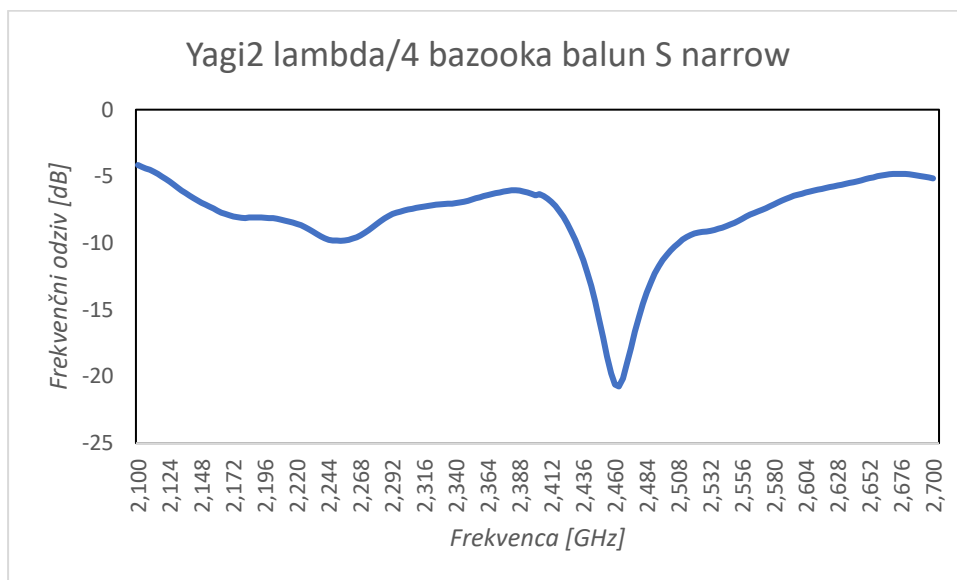
Prva antena ima odziv pri nekoliko nižji frekvenci, kot bi jo hotel imeti. Kljub krajšanju dipola se odziv ni bistveno premaknil. V povezavi z nadaljnjimi meritvami predvidevam, da je delno kriva prilagoditev. (Slika 14)

Dipol s Powseyjevim elementom odziva sploh ni imel, kar kaže na nepravilno izvedbo prilagoditve.



Slika 15: Odziv antene z nosilcem izračunanim s programom in dipolom s četrtvalnim lončkom

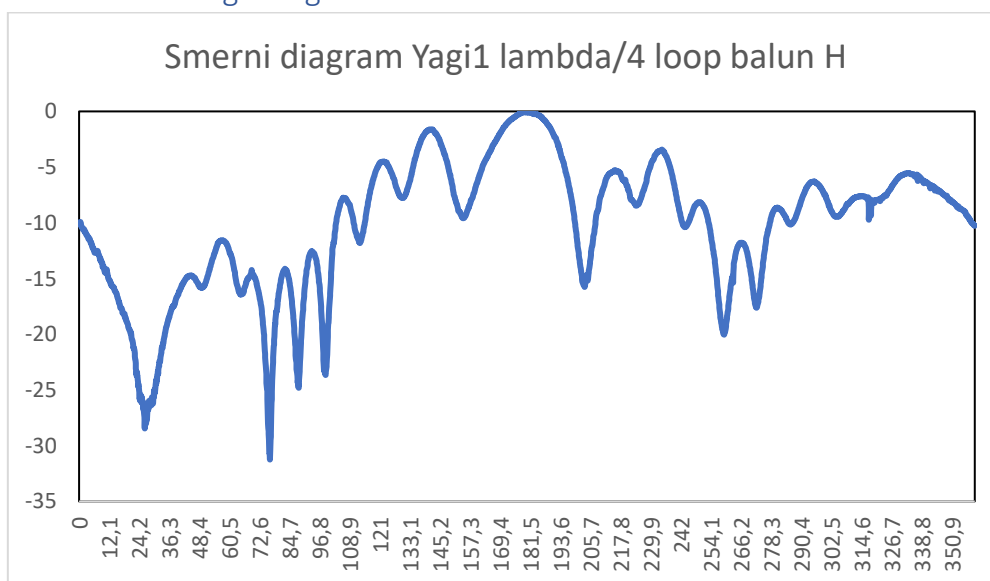
Ta odziv je iz meni neznanih razlogov precej širši kot ostali. Tako dipol kot bum imata v drugih konfiguracijah ožji odziv. (Slika 15)



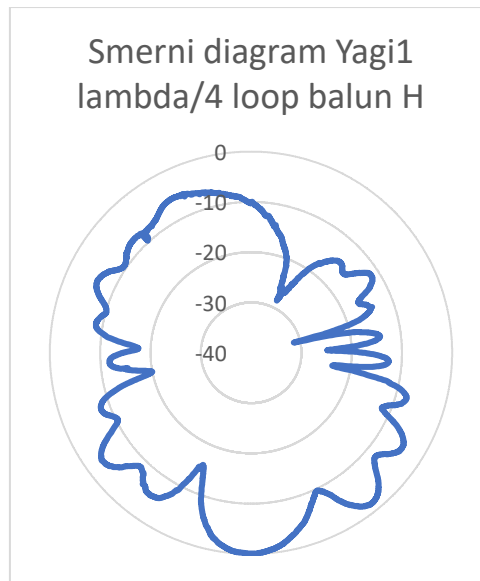
Slika 16: Odziv antene z nosilcem iz tabel in dipolom s četrtvalnim lončkom

Zadnja meritev izgleda najbolj prilagojena na 2,4GHz. Odziv je glede na frekvenco morda malenkost previsok, kar bi lahko bila posledica daljših (predolgih) parazitnih elementov. (Slika 16)

4.2. Meritve smerne diagrama antene

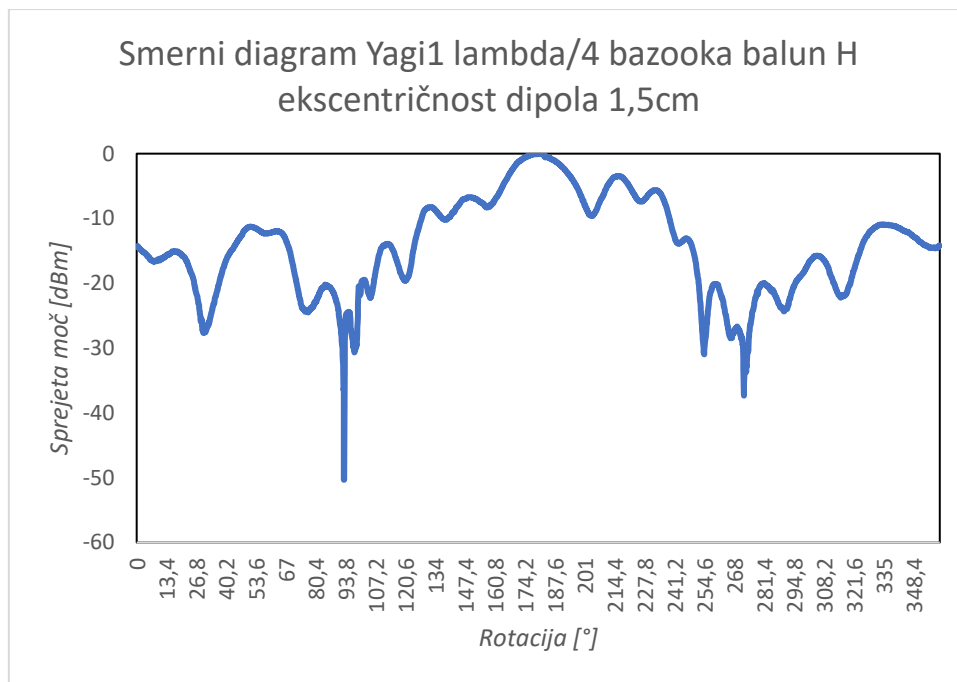


Slika 17: Smerni diagram antene z nosilcem izračunanim s programom in dipolom s četrtvalno zanko

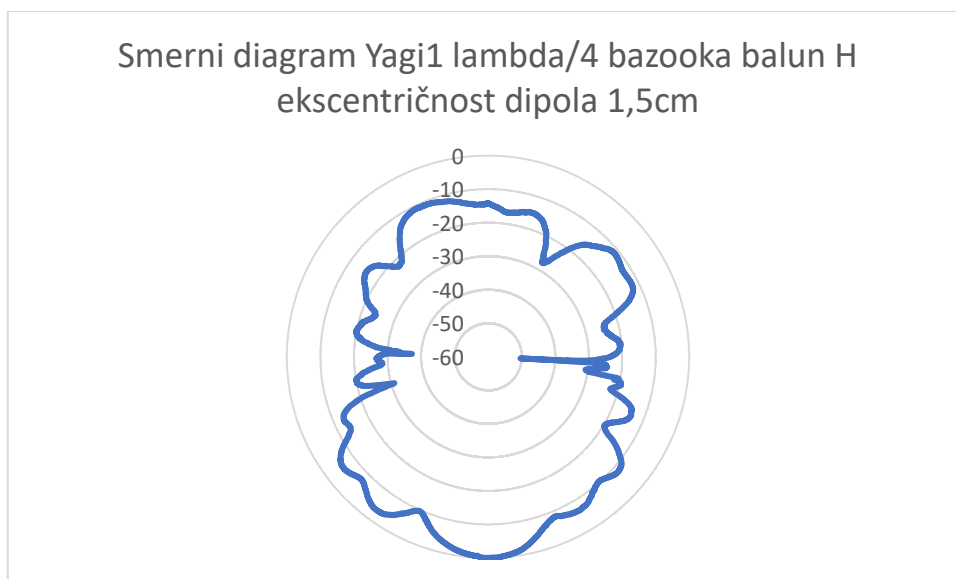


Slika 18: Smerni diagram antene z nosilcem izračunanim s programom in dipolom s četrtvalno zanko (polarni)

Ta kombinacija je imela zelo slabe rezultate. Glede na nadaljnje meritve sta gotovo kriva dipol in balun. (Sliki 12 in 18)

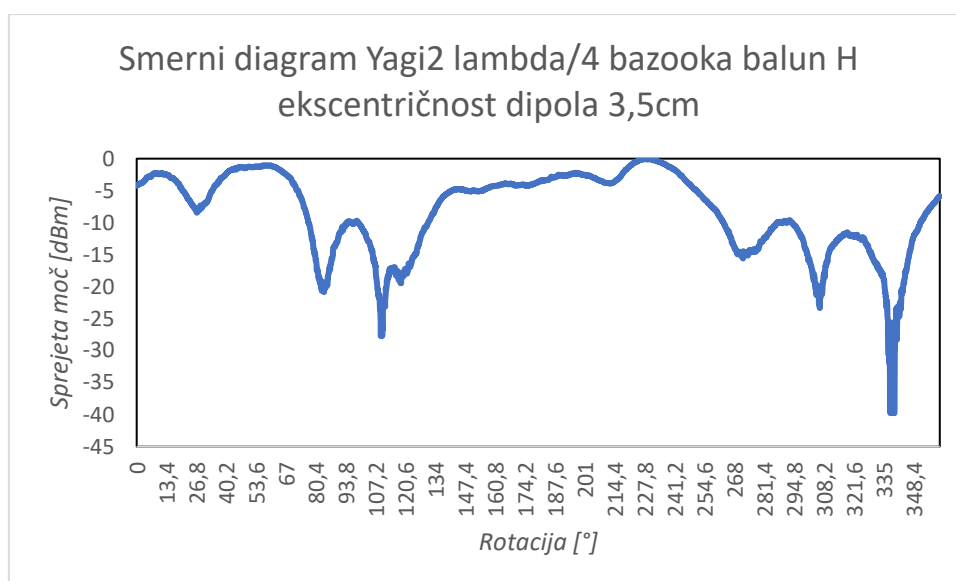


Slika 19: Smerni diagram antene z nosilcem izračunanim s programom in dipolom s četrtvalnim lončkom

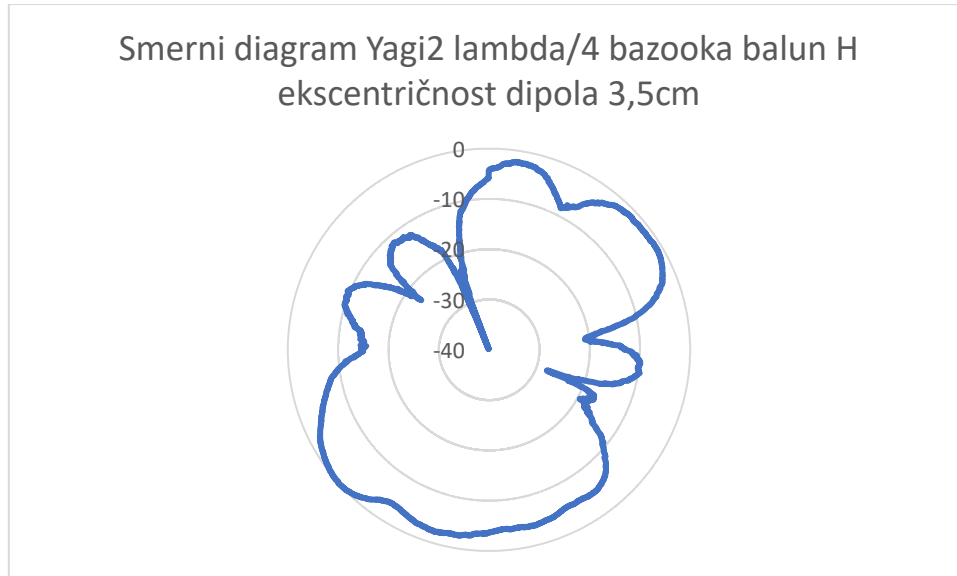


Slika 20: Smerni diagram antene z nosilcem izračunanim s programom in dipolom s četrtvalnim lončkom (polarni)

Ta kombinacija je imela dokaj v redu simetrijo in najboljšo smernost (12,55dBi), pa tudi dokaj soliden FBR – več kot -10dB. (Sliki 19 in 20)

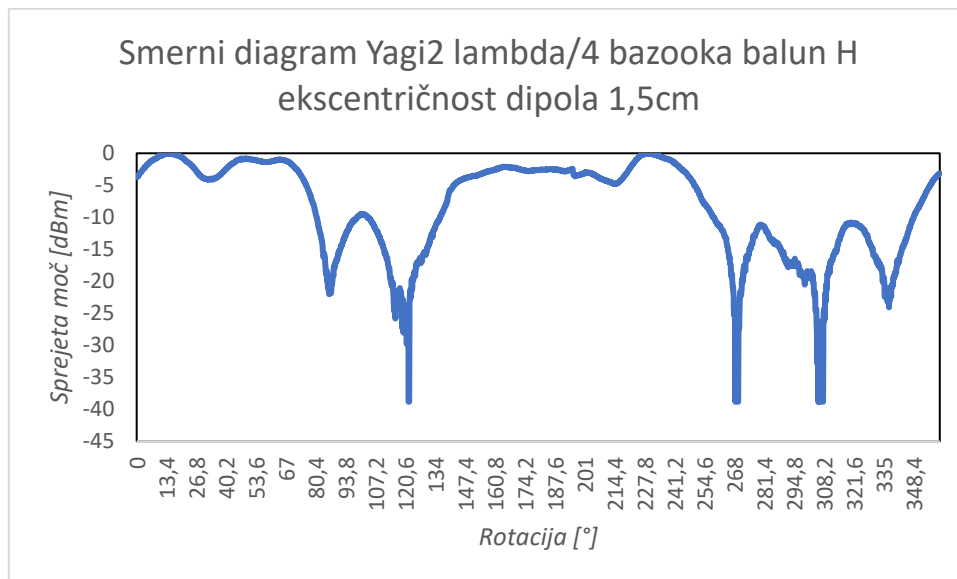


Slika 21: Smerni diagram antene z nosilcem iz tabel, dipolom s četrtvalnim lončkom in ekscentričnostjo dipola 3,5cm

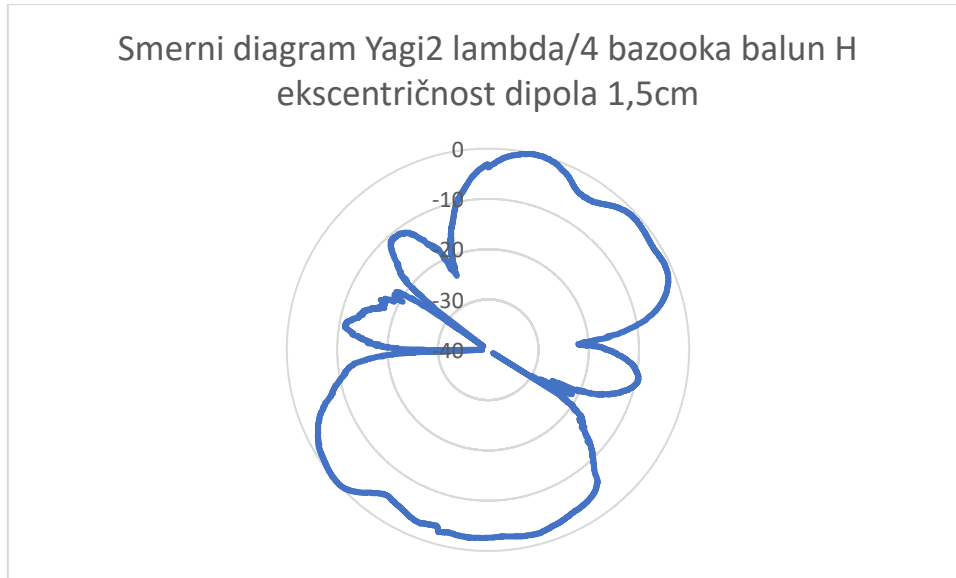


Slika 22: Smerni diagram antene z nosilcem iz tabel, dipolom s četrtvalnim lončkom in ekscentričnostjo dipola 3,5cm (polarni)

Te meritve so bile narejene predvsem za določitev faznega središča. (Sliki 21 in 22)

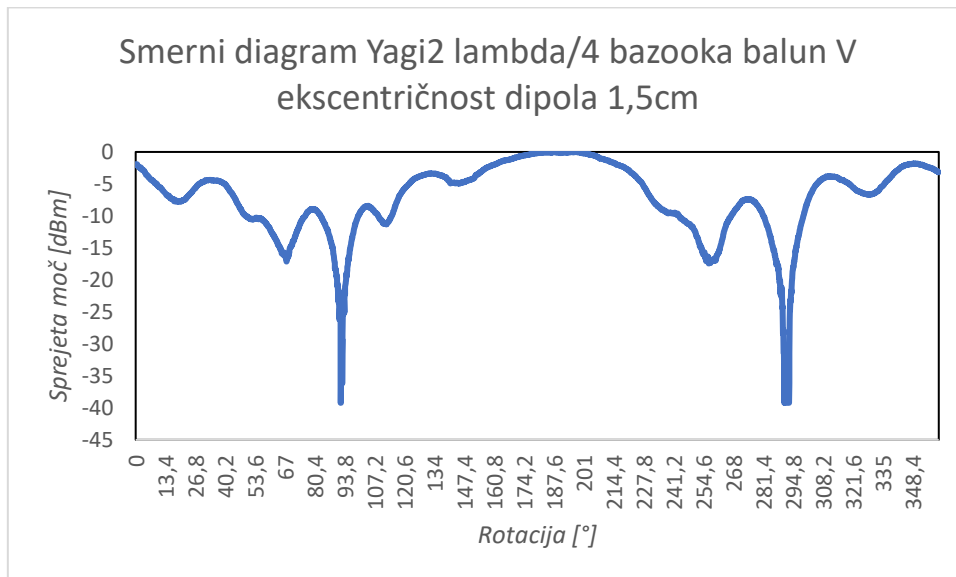


Slika 23: Smerni diagram antene z nosilcem iz tabel, dipolom s četrtvalnim lončkom in ekscentričnostjo dipola 1,5cm pri polarizaciji H

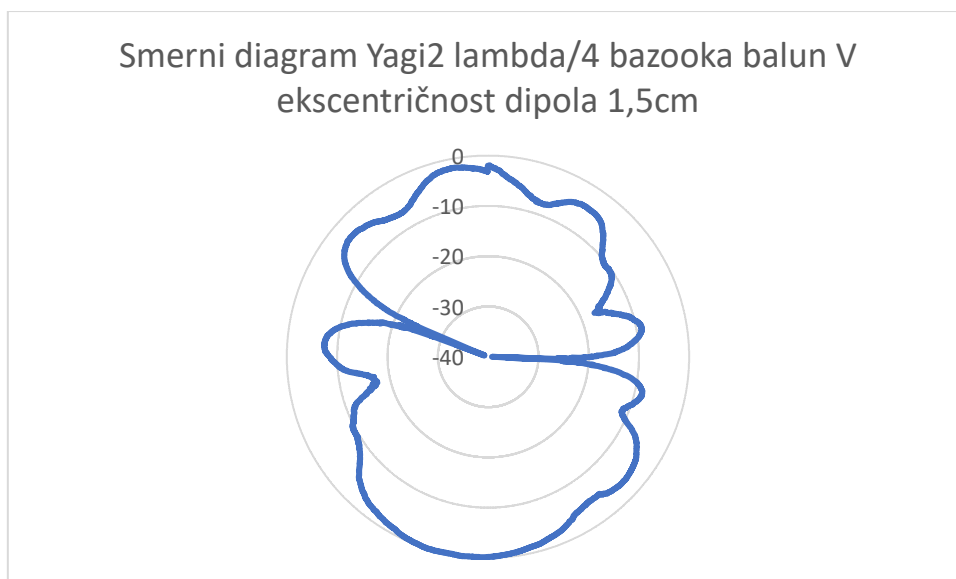


Slika 24: Smerni diagram antene z nosilcem iz tabel, dipolom s četrtvalnim lončkom in ekscentričnostjo dipola 1,5cm pri polarizaciji H (polarni)

Ta meritev je bila narejena za določitev faznega središča in vpliva polarizacije oddajne antene. Simetrija se vidi, vendar pa ne smernost, ne FBR nista zadovoljiva. (sliki 23 in 24)

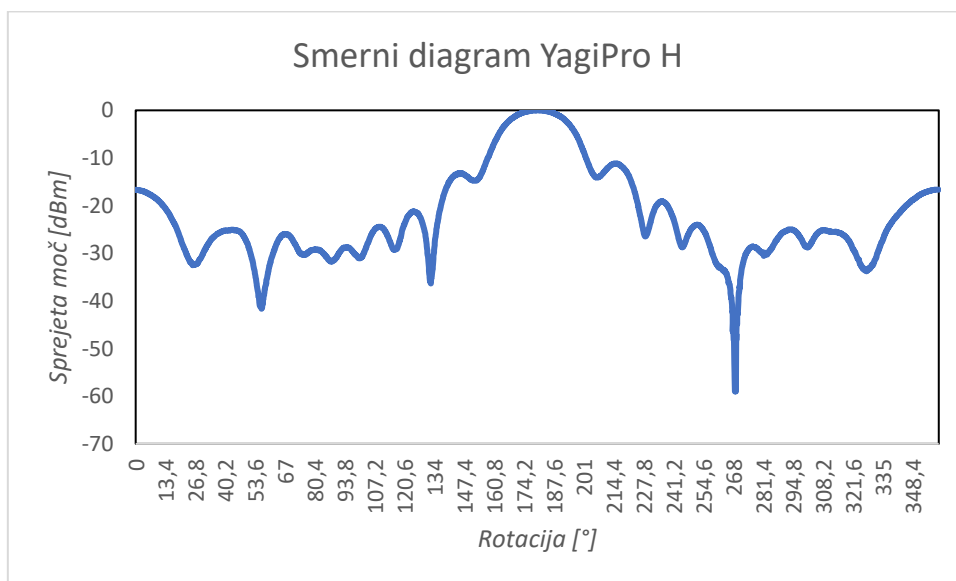


Slika 25: Smerni diagram antene z nosilcem iz tabel, dipolom s četrtvalnim lončkom in ekscentričnostjo dipola 1,5cm pri polarizaciji V

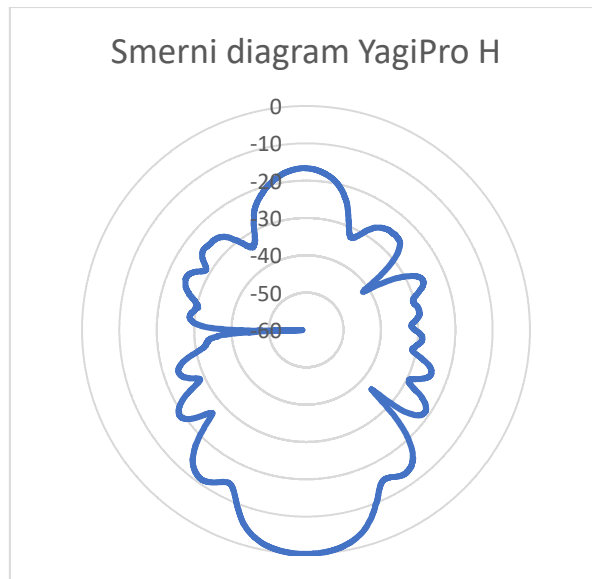


Slika 26: Smerni diagram antene z nosilcem iz tabel, dipolom s četrtvalnim lončkom in ekscentričnostjo dipola 1,5cm pri polarizaciji V (polarni)

Ta meritev je bila narejena za določitev vpliva polarizacije oddajne antene. Simetrija, smernost in FBR so podobni prejšnji meritvi. (sliki 25 in 26)



Slika 27: Smerni diagram profesionalno narejene Yagi - Uda antene za 2,4GHz



Slika 28: Smerni diagram profesionalno narejene Yagi - Uda antene za 2,4GHz (polarni)

Za primerjavo sem naredil še meritev smernega diagrama profesionalno narejene antene iz LSO. Ta antena ima manj stranskega sevanja in boljši FBR ter smernost. Smernost profesionalne antene je bila 16,14 dBi. (sliki 27 in 28)

Če primerjam ta rezultat z mojim najboljšim rezultatom – 12,55 dBi, vidim, da je smernost profesionalne antene boljša za okoli 2,3-krat. Seveda to ni edini pomemben parameter, mislim pa, da je rezultat zadovoljiv za prvi poskus.

5. Zaključek

Antene sicer niso imele smernosti, ki so jih obljubljele tabele in kalkulator, sem pa izboljšal tako simetrijo smernega diagrama kot smernost – prva meritev je imela smernost primerljivo s coffee can anteno – $D \approx 6,4$ dBi. Mislim, da bi lahko s pravilno izbiro baluna in bolj natančnim konstruiranjem prišel bližje obljubljenim 16 dBi.

V planu imam nadaljevati z meritvami in izdelavo različnih dipolov, saj me zanima kateri del dipola oziroma nosilca je še problematičen, in kako lahko še izboljšam smernost ter smerni diagram.

6. Viri

1. Karl Rothamel: Antene, VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Beograd, 1983
2. Matjaž Vidmar: Antene in razširjanje valov, <http://antena.fe.uni-lj.si/literatura/ar.pdf>, januar 2019
3. Hartmut Kluver: Symmetrising, <http://dg7ybn.de/Symmetrising/Symmetrising.htm>, januar 2019
4. Peter P. Viezbicke: Yagi Antenna Design, http://antena.fe.uni-lj.si/literatura/ar/NBS%20tabele_Nist-688.pdf, januar 2019