

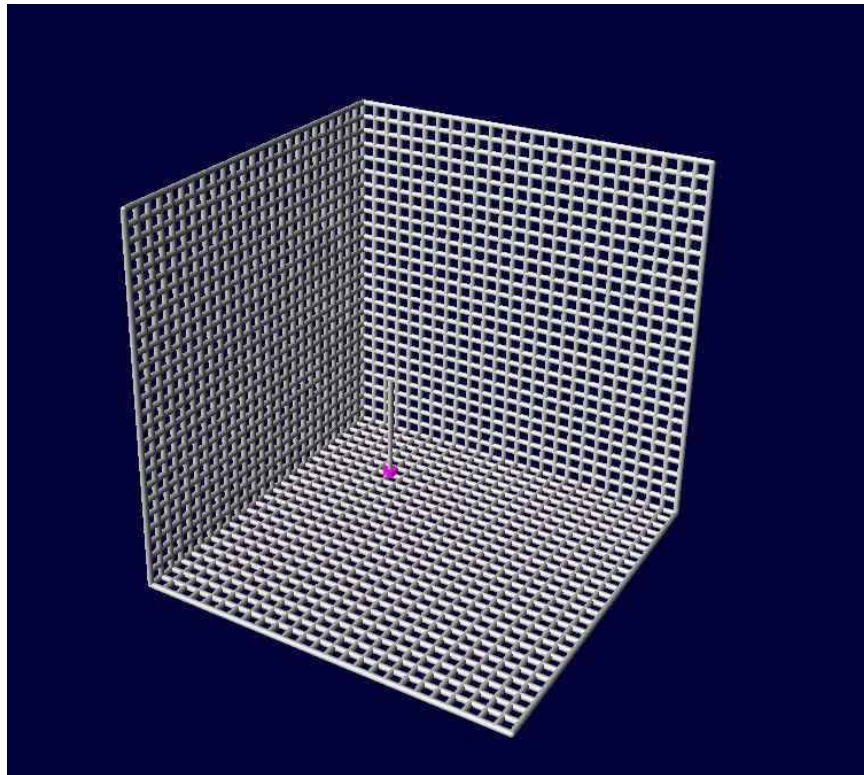
Modifikovana 3D Korner Reflektor Antena

Dragoslav Dobričić, YU1AW

Napomena: Ova antena je kasnije još više poboljšana optimizovana i unapređena. Finalna varijanta sa svim unapređenjima i poboljšanjima nalazi se u fajlu: [Skraćena 3D korner reflektor antena](#) .

Originalni dizajn ove izuzetne aperturne antene prvi put je u literaturi opisan u: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, July, 1974. "Three-Dimensional Corner Reflector Array" by Naoki Inagaki (pp. 580-582)*. Precizne i opširne rezultate kompjuterske analize i simulacije objavio je [L.B. Cebik W4RNL](#) u članku: *"The 3-D Corner Reflector"* koji se može naći na njegovom sajtu.

Antena se sastoji iz tri kvadratne reflektorske površine međusobno postavljene pod pravim uglom kao polovina kocke, i zračnim elementom u vidu monopola na jednoj od njih. Ovakva struktura koncentriše elektromagnetno zračenje u relativno uzan snop čiji smer maksimalnog zračenja leži na velikoj dijagonali koja polazi iz temena (apex-a) kocke čiji deo ova struktura predstavlja, tj. pod uglom od **45 stepeni** u odnosu na sve tri reflektorske ravni . Veličina reflektorskih ravni nije kritična. Sa njenim povećanjem povećava se pojačanje antene, u početku značajno a kasnije sve manje. Optimalna veličina je oko **2-3** talasne dužine. Dalje povećanje dimenzija dovodi do sve manjeg povećanja pojačanja antene i pri oko **4-5** talasnih dužina dostiže se praktični maksimum pojačanja. Dalje povećanje dimenzija reflektorskih površina nema smisla jer više ne dovodi do povećanja pojačanja..



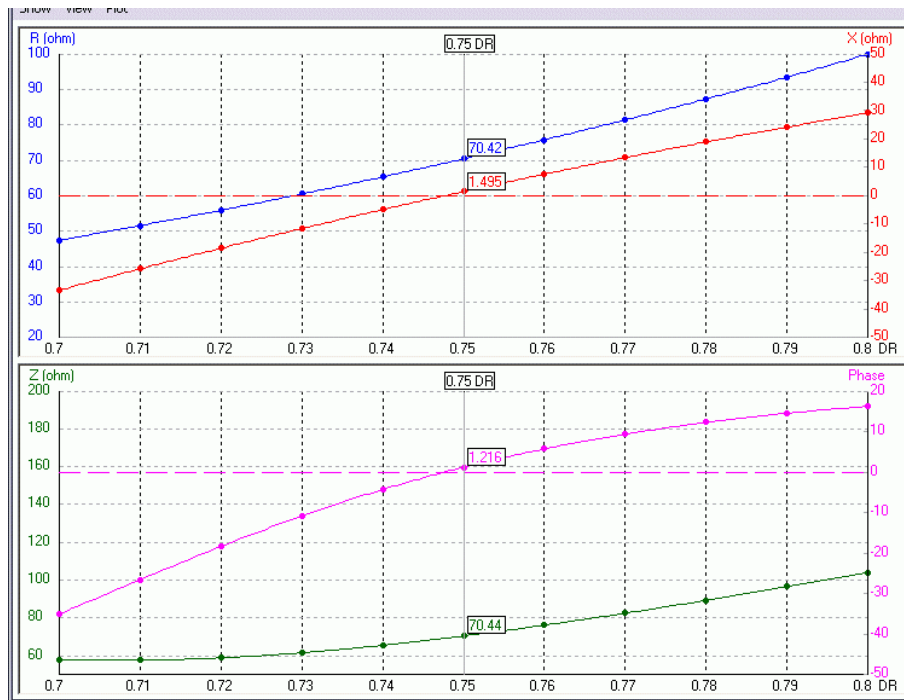
Izgled originalne 3D korner reflektor antene

Reflektorske površine mogu biti napravljene od punog materijala kao što je aluminijumski, bakarni ili mesingani lim, a na nižim frekvencijama u vidu metalne mreže čija gustina mora biti određena tako da otvor, meren po najvećoj dimenziji, mora biti manji od **0.1 talasne dužine**.

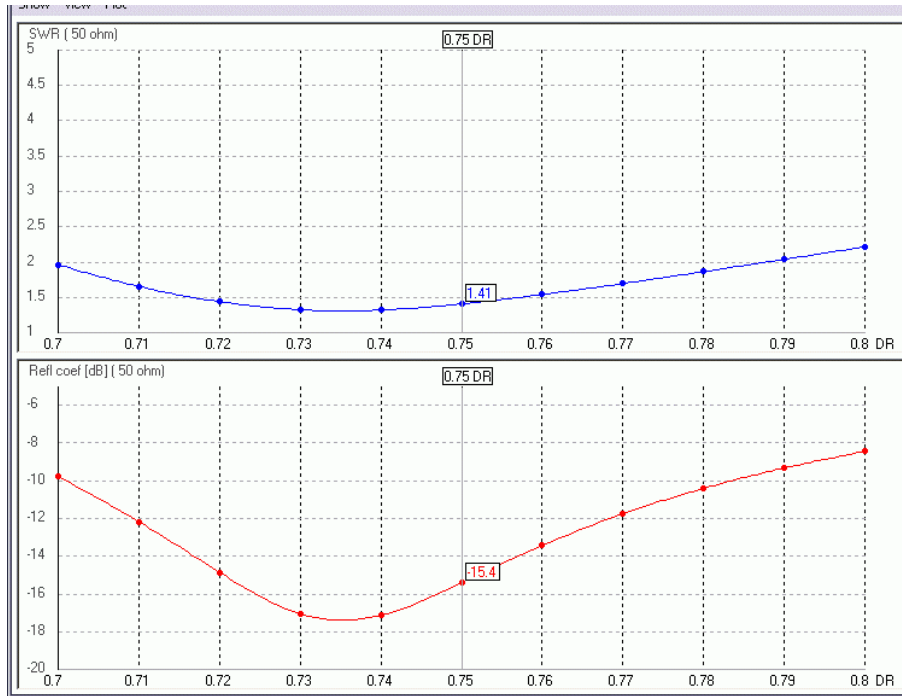
Ono što ovu antenu čini izuzetnom je njena izvanredna jednostavnost i veoma nekritičan dizajn, što garantuje veliku ponovljivost praktičnih rezultata i mogućnost njene upotrebe, uz preračunavanje njenih dimenzija, na frekvencijama od nekoliko desetina **MHz** pa sve do nekoliko **GHz**.

Još jedna lepa osobina ove antene je da ima izvanredno potisnute sporedne snopove zračenja, što je čini veoma dobrim izborom kada šum i smetnje od signala iz drugih pravaca treba što više potisnuti.

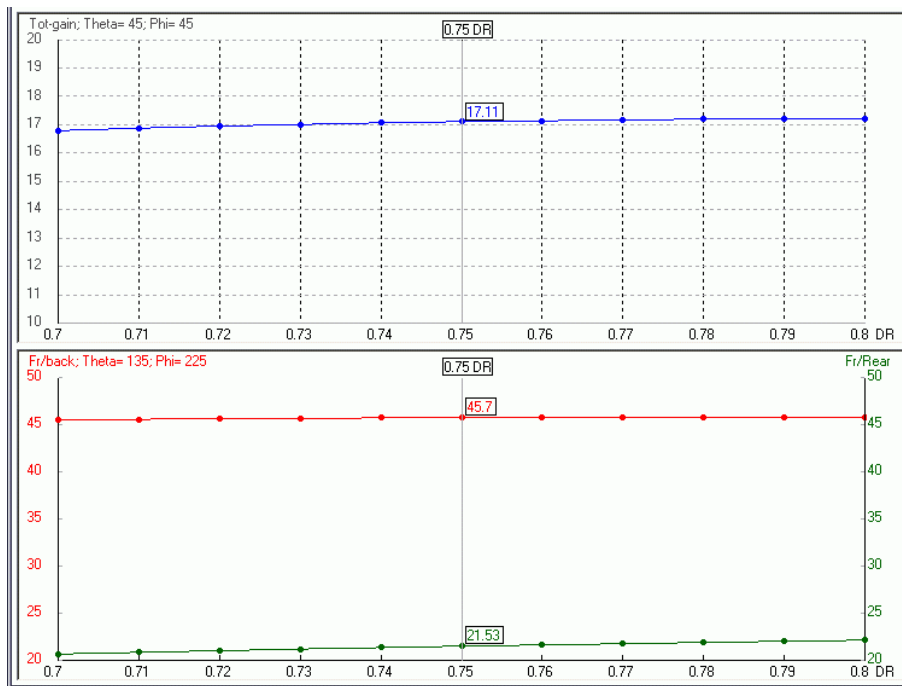
Jedini nedostatak ove originalne antene je njena ulazna impedansa. Ona se menja sa položajem i dužinom zračećeg elementa - monopola. Istovremeno se tim promenama menja i pojačanje antene. U optimalnom položaju, na oko **x= 0.6 i y= 0.6 talasnih dužina**, mereno od apex-a, i pri optimalnoj dužini zračećeg elementa **DR=0.75 talasnih dužina**, mereno od reflektorske ravni, vrednost ulazne impedanse za približno najveće pojačanje antene iznosi oko **72 oma** kada je antena u rezonansi, što daje minimalni **SWR** od oko **1.5** za **50 oma** prilagođenje.



Vrednost ulazne impedanse originalne antene u zavisnosti od dužine zračećeg elementa DR u talasnim dužinama



Ulazno prilagođenje originalne antene u zavisnosti od dužine zračećeg elementa DR



Pojačanje originalne antene i potiskivanje sporednih snopova zračenja u zavisnosti od dužine zračećeg elementa DR u talasnim dužinama

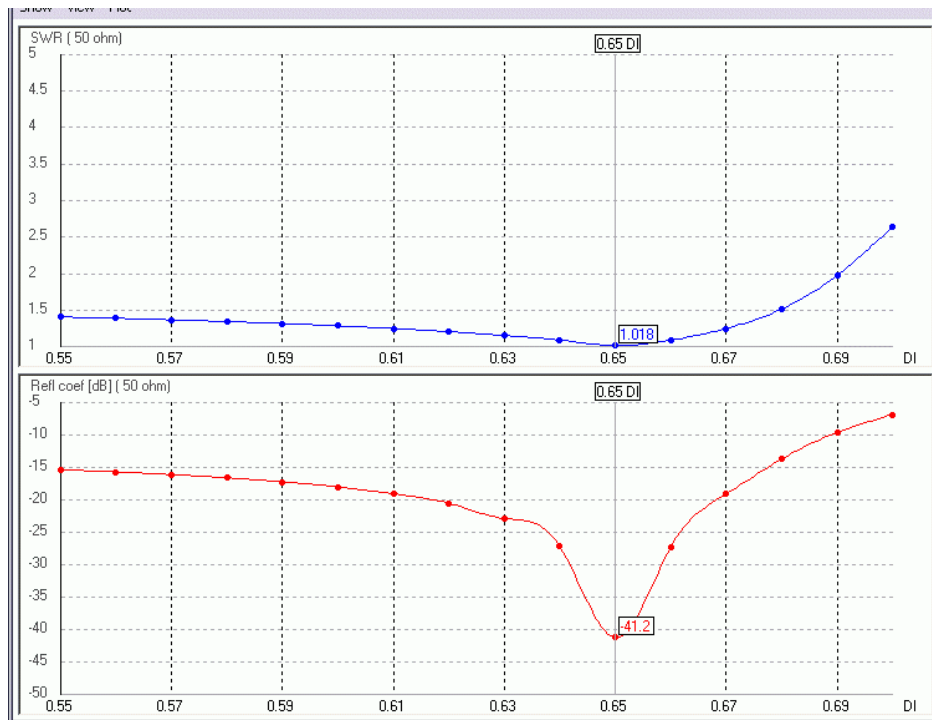
Modifikacija originalne 3D korner antene

Ovaj **SWR** je prihvatljiv na nižim frekvencijama gde su gubici u kablovima mali, ali na **UHF** i **SHF** području on postaje problematičan jer su gubici u kablovima usled neprilagođenja značajni. Alternativa je napajanje antene kablom od **75 oma** što smanjuje gubitke ali ostaje problem pravilnog prilagođenja na uređaje predviđene za rad sa impedansom od **50 oma**.

Već na prvi pogled bilo je jasno da bi bilo dobro ako bi ovu izuzetnu antenu i u ovom pravcu doterali. Prva stvar koja je dolazila u obzir je dodavanje jednog elementa čiji bi uticaj na zračeci element bio tako proračunat da smanji ulaznu impedansu na **50 oma**. Naravno, ovakav zahvat je podrazumevao da se pri tome maksimalno očuvaju postojeće dobre osobine antene.

Za taj posao valjalo je koristiti najbolje programe za analizu koji su trenutno dostupni, pošto većina programa za analizu antena najlošiju tačnost pokazuje upravo na rezultatima proračuna ulazne impedanse. Osim toga ovde se radi o anteni koja radi prevashodno koristeći zakone optike pa je bilo potrebno i odabrati program koji je najbolji upravo u oblasti simulacija aperturnih antena. Izbor je pao na verziju poznatog profesionalnog programa za simulaciju antena **NEC-2**.

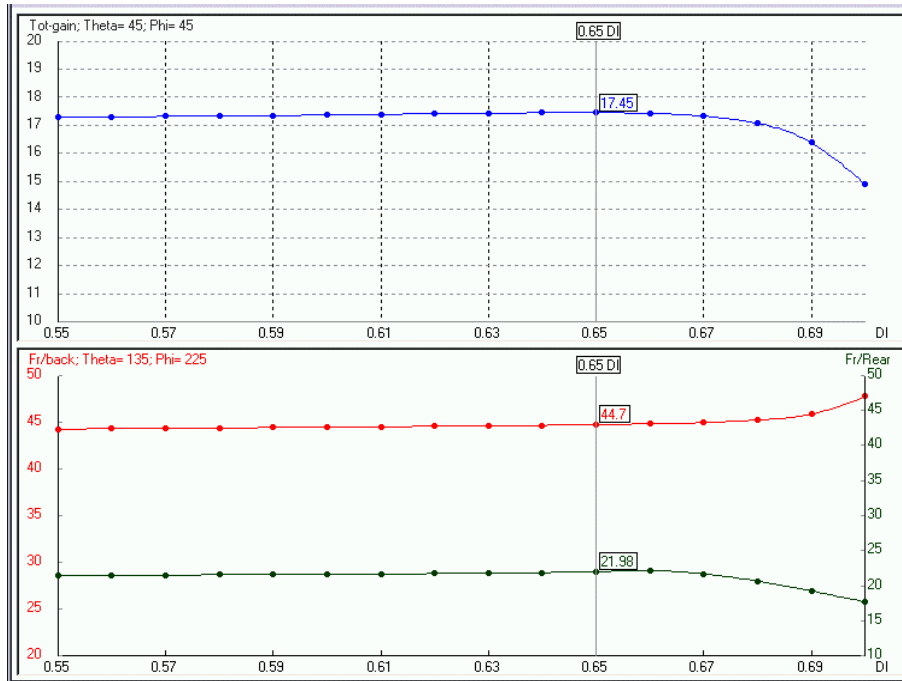
Posle izvršenih analiza više različitih varijanti rešenja, konačno se iskristalisalo rešenje sa dodatnim parazitnim elementom koji bi se nalazio ispred zračecog elementa slično kao prvi direktor kod jagi antena.



Ulazno prilagođenje modifikovane antene u zavisnosti od dužine dodatog elementa DI u tal. dužinama

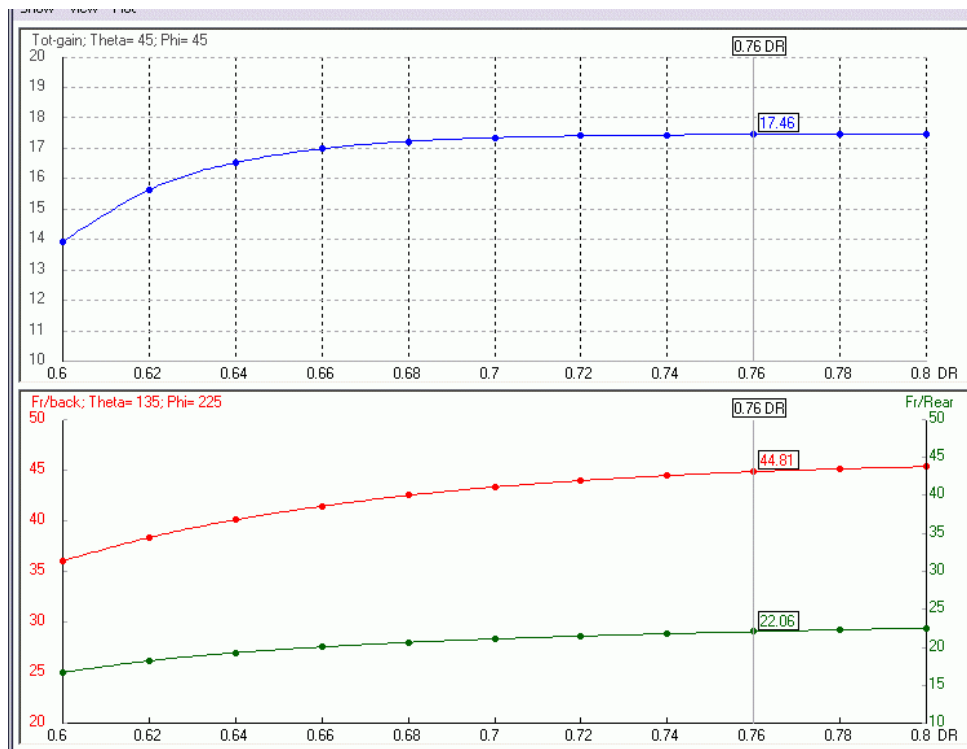
Naravno u pitanju je samo analogija, jer zapravo rešavanje problema ulazne impedanse ove antene, samo je slično sa rešenjima kod jagi antena, jer se radi o sasvim različitim principima rada jedne i druge antene.

Postavljanjem dodatnog elementa i podešavanjem njegove dužine i rastojanja od zračućeg elementa dobijeno je skoro idealno prilagođenje na **50 oma**.



Pojačanje modifikovane antene i potiskivanje sporednih snopova zračenja u zavisnosti od dužine dodatog elementa DI u talasnim dužinama pri $DR=0.75$ tal. dužina.

Ispitivanje ostalih osobina antene kao što su pojačanje, veličina sporednih snopova zračenja, efikasnost i promena impedanse sa promenom frekvencije, tj. širina radnog opsega za dati **SWR**, pokazalo je gotovo nepromenjeno stanje u odnosu na stanje pre modifikacije. Na modelu koji je kasnije napravljen, u praksi su proverena i potpuno potvrđena predviđanja kompjuterske simulacije. Osim laboratorijskih merenja ulaznog prilagođenja i pojačanja, antena je korišćena i u praktičnoj **WLAN** komunikaciji gde je pokazala prednost u odnosu na klasičnu **korner reflektor antenu** sa kojom je poređena. **Ono što je bilo neobično prilikom korišćenja ove antene je njeno usmeravanje. Postoji navika da antene zrače u smeru neke od geometrijskih dimenzija ili normalno na reflektorsku površinu. Međutim, kod ove antene to nije slučaj! Njen dijagram zračenja je pod uglom od 45 stepeni u odnosu na sve tri reflektorske ravni i o tome se mora voditi računa pri usmeravanju! Zato je obavezno treba montirati na stub pomoću nosača koji će obezbediti u prvom redu da antena zrači prema horizontu, tj. sa elevacionim uglom od 0 stepeni. Da bi se to postiglo potrebno je antenu montirati pod uglom od 45 stepeni (vidi slike). Tek tada je možemo lako usmeravati prema korespondentu okretanjem antene oko ose nosećeg stuba.**



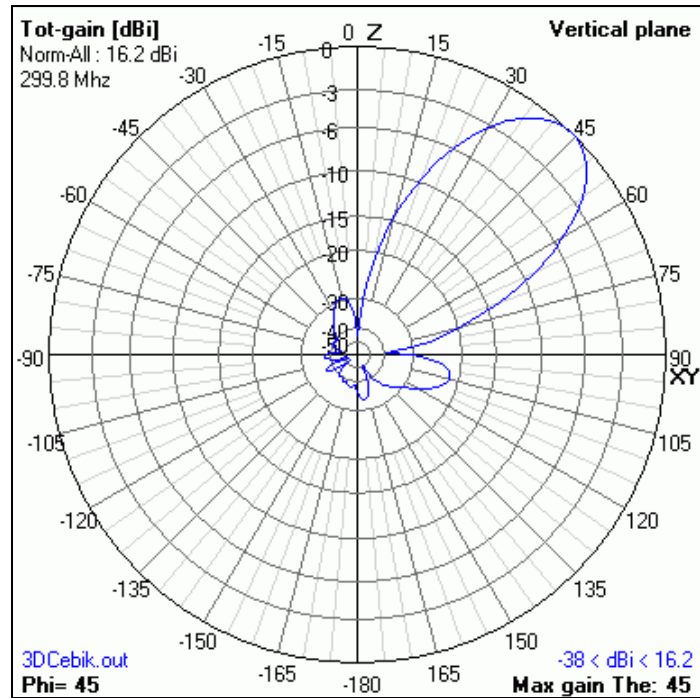
Pojačanje modifikovane antene i potiskivanje sporednih snopova zračenja u zavisnosti od dužine dodatog elementa DR u talasnim dužinama pri $DI=0.65$ tal. dužina.

Izrada probnog modela

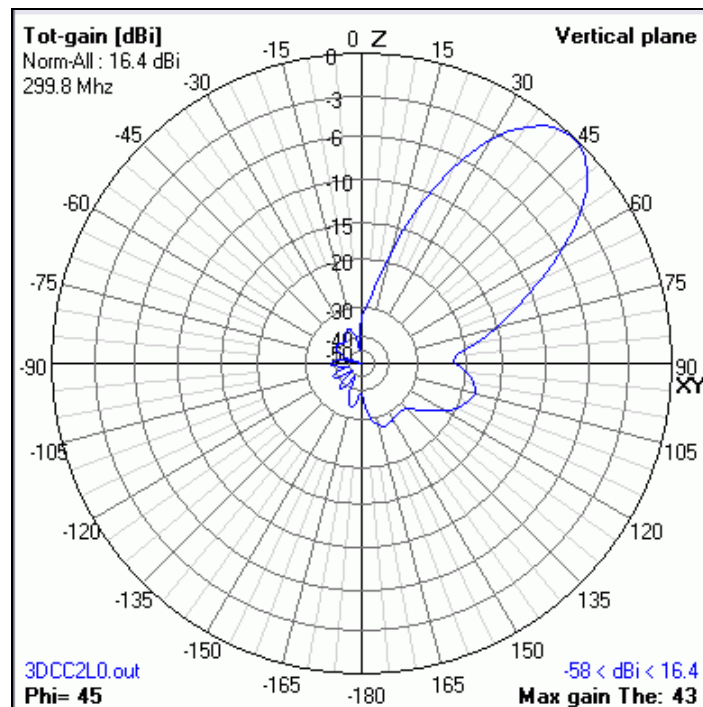
Simulacija **L.B. Cebika** za originalnu antenu sa reflektorom od **2 talasne dužine** i monopolom **0.75 talasnih dužina** na poziciji $x=0.6$ i $y=0.6$ talasnih dužina, daje vrednost pojačanja od **16.19 dBi** pri ulaznoj impedansi od **71+j7 oma**. Naša simulacija je pokazala skoro identične rezultate od **16.2 dBi** pri impedansi od **69.2+j8.5 oma**! Ovim je upoređena i proverena tačnost našeg modela i simulacije u odnosu na profesionalnu verziju programa **NEC-4**.

Simulacija modifikovane antene sa dodatim elementom za podešavanje impedanse pokazala je nešto malo veće pojačanje što je logična posledica sniženja otpornosti zračenja antene sa **72** na **50 oma**. Pojačanje je iznosilo **16.4 dBi** pri ulaznoj impedansi od **51.2+j0.2 oma**, uz malu promenu vertikalnog dijagrama zračenja. Horizontalni dijagram zračenja je ostao praktično nepromenjen.

Pri ovoj modifikaciji, zbog sniženja otpornosti zračenja antene očekivalo se i izvesno malo smanjenje širine frekvencijskog radnog opsega antene što je takođe podvrgnuto ispitivanju. Dobijene vrednosti prilagođenja sa promenom frekvencije su date na kraju članka uporedo za modifikovanu (**50 oma**) i nedomifikovanu (**75 oma**) antenu.



Dijagram zračenja i pojačanje originalne 3D korner antene od 2 tal. dužine.



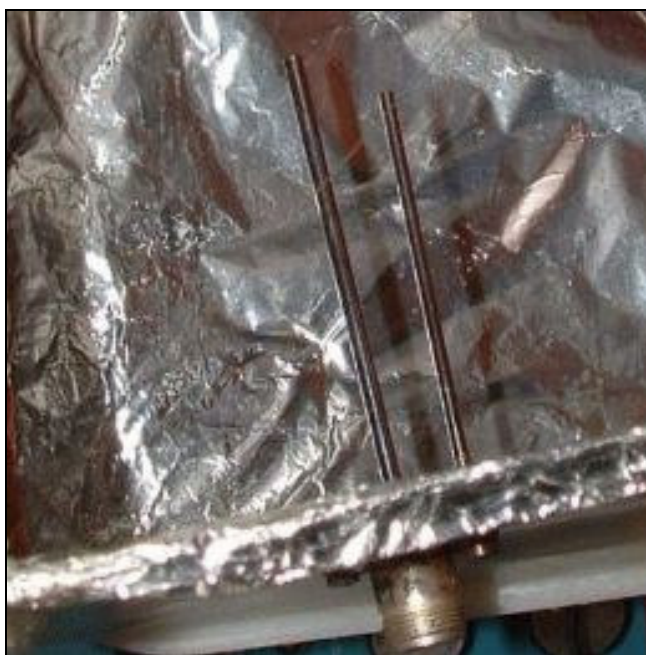
Dijagram zračenja i pojačanje modifikovane 3D korner antene od 2 tal. dužine.

Probni model je napravljen od plastične kutije u obliku kocke dimenzija **225 x 225 x 225 mm** (nešto malo ispod **2 talasne dužine na 2.4 GHz**) koja je presečena i sa unutrašnje strane oblepljena aluminijumskom folijom. Na površini koja je bila dno kockaste plastične kutije izbušeni su otvori za montažu jednog ženskog **N priključka** i jednog **mesinganog zavrtnja M4 sa dve matice** za fiksiranje na dužinu određenu proračunom. Na **N priključak** je zalemljena mesingana cevčica prečnika **4mm** tako da njena ukupna dužina odgovara proračunu dužine zračućeg elementa **DR**. Mesingani zavrtnj je produžen time što je na njegov kraj takođe zalemljena mesingana cevčica od **4mm** čija je dužina odabrana tako da sa polovinom dužine zavrtnja daje proračunsku dužinu elementa za podešavanje **DI**. Vođeno je računa da masa **N priključka** i matice mesinganog **zavrtnja M4** imaju dobar spoj po celom obimu sa aluminijumskom folijom na reflektorskoj površini. **To je veoma važno za pravilan rad antene!**



Pogled na antenu spreda

Takođe, celokupna reflektorska površina u sve tri ravni mora se ponašati kao kontinuirana površina sa dobrim električnim kontaktom celom dužinom na spojevima između pojedinih reflektorskih ravni. Ovo je ostvareno preklopom, širokim **30mm**, pojedinih slojeva aluminijumske folije, što je četvrtina talasne dužine na radnoj frekvenciji. Ovim se postiže da, i u slučaju lošeg međusobnog kontakta, preslikana impedansa „otvorenog“ četvrt-talasnog voda, koji čine dva sloja folije, bude „kratak spoj“, čime se obezbeđuje efikasan rad antene. Dužine oba elementa i njihovo međusobno rastojanje je podešeno prema proračunu veoma precizno kako bi se prilikom stavljanja na instrumente videlo kolika je inicijalna greška u proračunu.



Način izvođenja zračćeg i dodatog elementa

Bilo je veoma veliko zadovoljstvo videti da se antena na instrumentima ponaša upravo onako kako je to računarskom simulacijom bilo predviđeno. Ulazno prilagođenje je bilo **preko -30dB** a izmereno pojaćanje je **15.5 dB** uz moguću grešku od +/- **1dB**, pošto nije bilo mogućnosti za postavljanje mernog poligona koji bi isključio neke neželjene sporedne uticaje i obezbedio veću taćnost merenja.

Kada se uzme u obzir sam probni model, njegova preciznost, naćin izrade i dimenzije reflektora, rezultati se veoma dobro slažu sa predviđanjima kompjuterskih simulacija, što

je u velikoj meri potvrdilo verodostojnost korišćenog matematičkog modela ove antene u programu za simulaciju.



Pogled sa strane

Podešavanje impedanse je veoma nekritično, široko i upravo onako kako se očekivalo. Praktično je moguće antenu napraviti, precizno odmeriti potrebne dimenzije i rastojanja elemenata i antena će odmah biti podešena bez ikakvog daljeg podešavanja na instrumentima koji su većini graditelja teško dostupni. To je još jedna velika prednost ove antene.



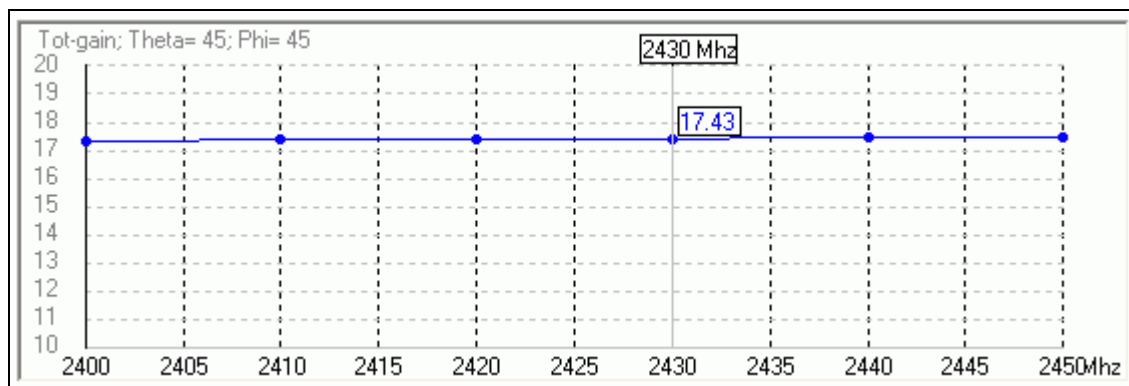
Pogled na zračeci i dodati element



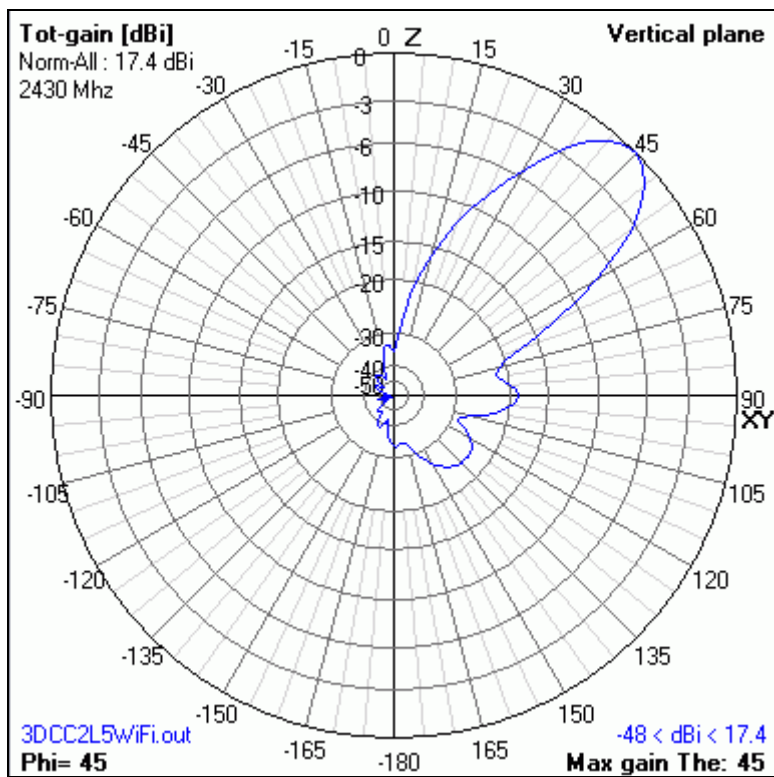
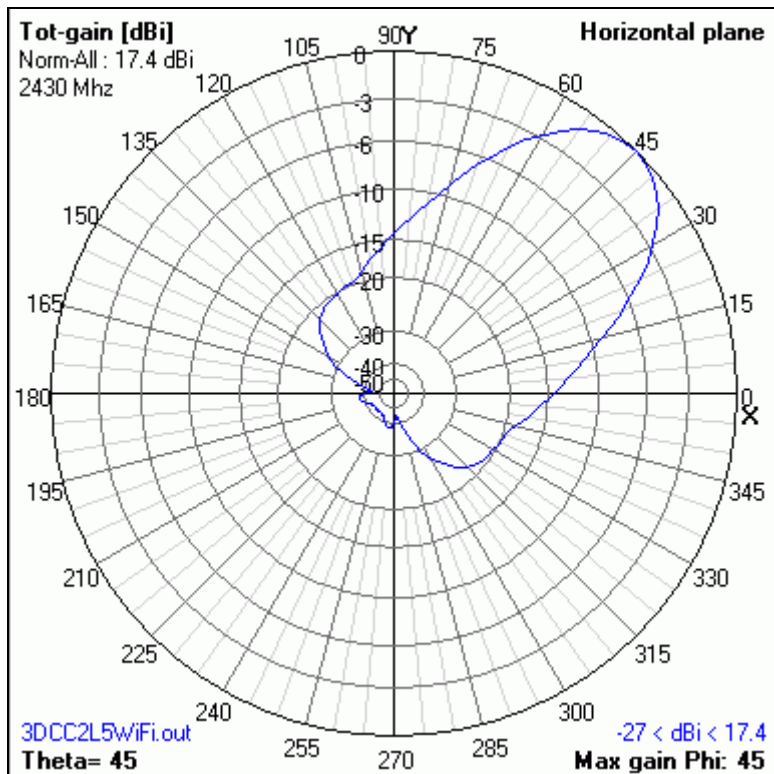
Izgled antene u položaju za rad

Modifikovana 3D korner antena za 2.4 GHz

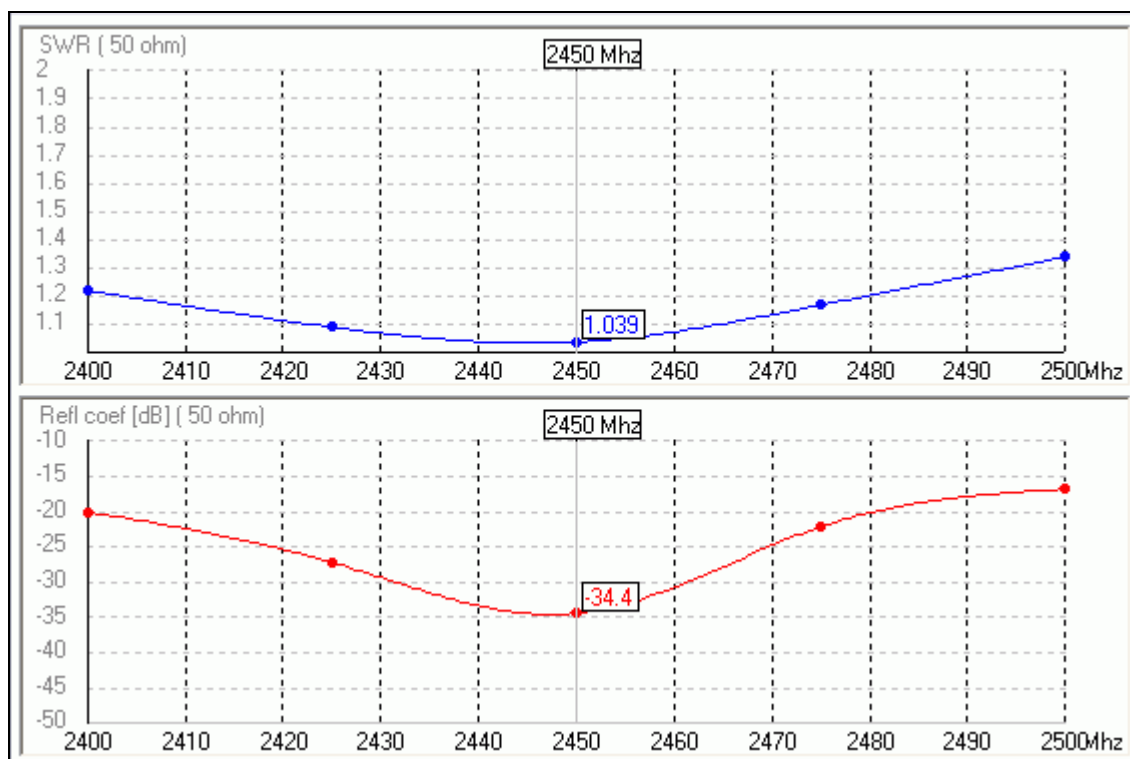
Kao optimalna dimenzija reflektora usvojena je vrednost od **2.5 talasne dužine** što na **2.4 GHz** iznosi **300 mm**. Pravilno sagrađena antena daje pojačanje preko **17 dBi** što je prihvatljiva vrednost za većinu potreba.



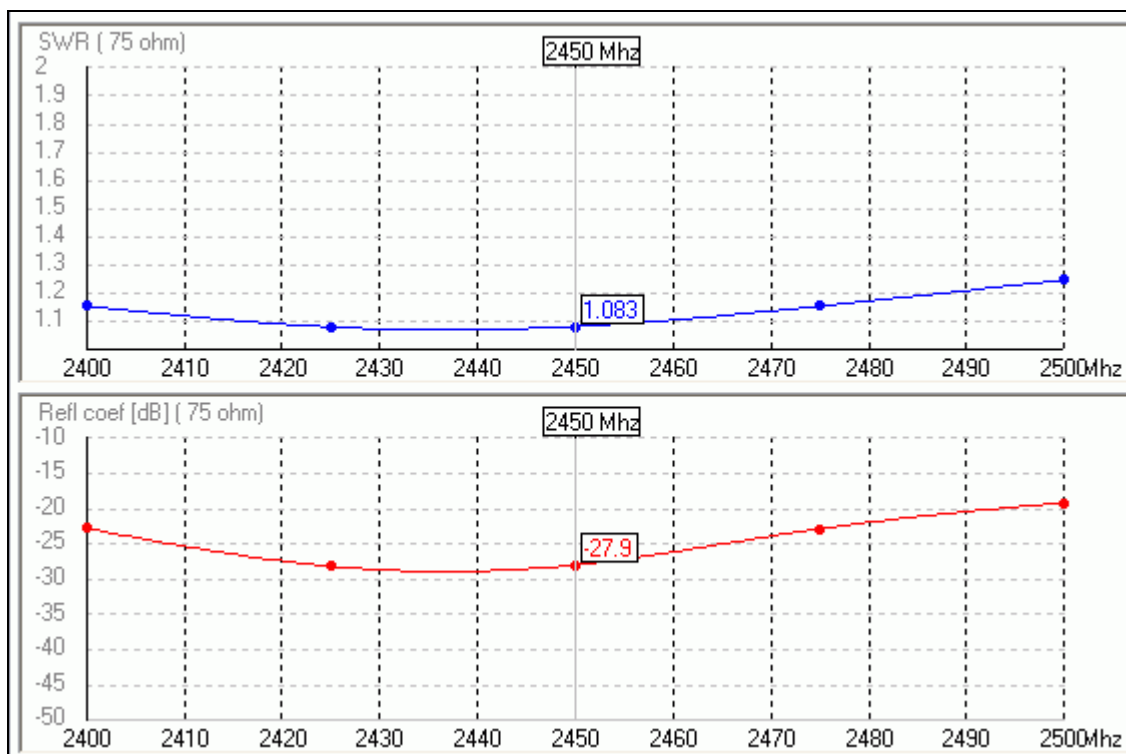
Pojačanje modifikovane 3D korner antene



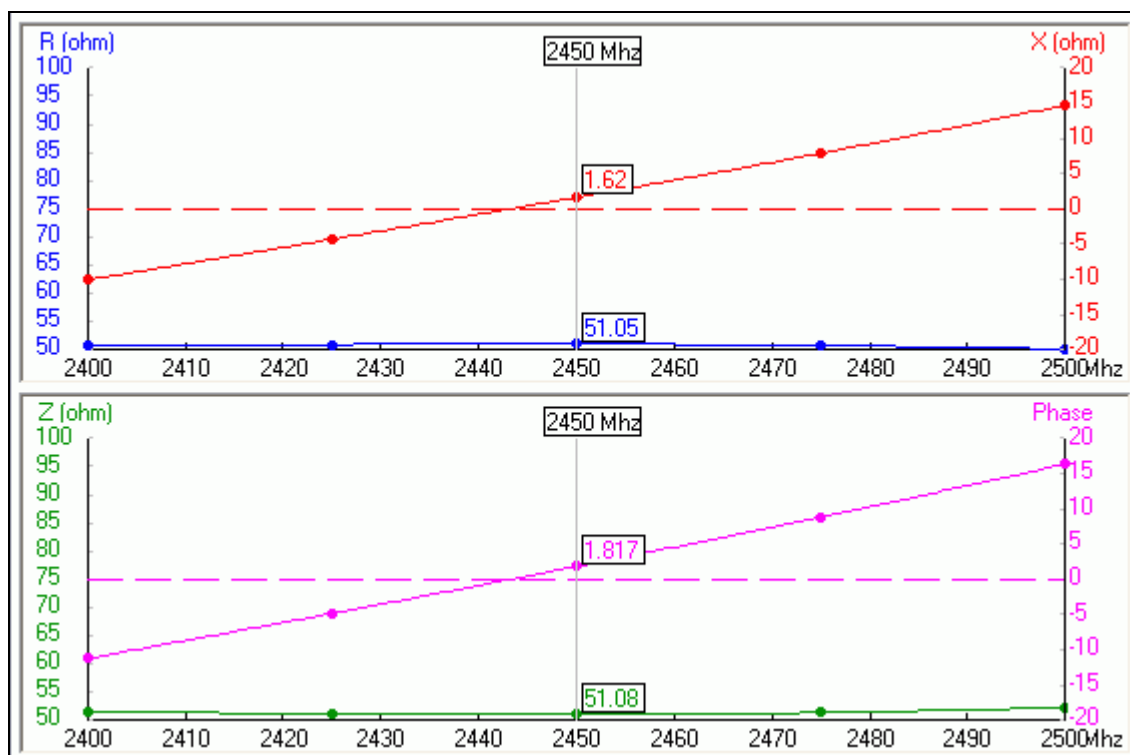
Horizontalni i vertikalni dijagram modifikovane antene



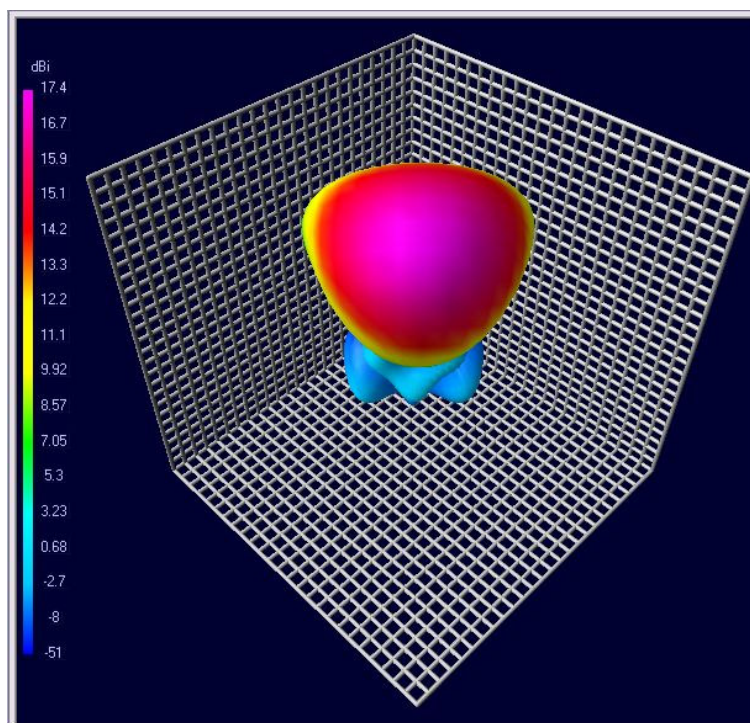
Ulazno prilagođenje i širina radnog opsega modifikovane antene na 50 oma



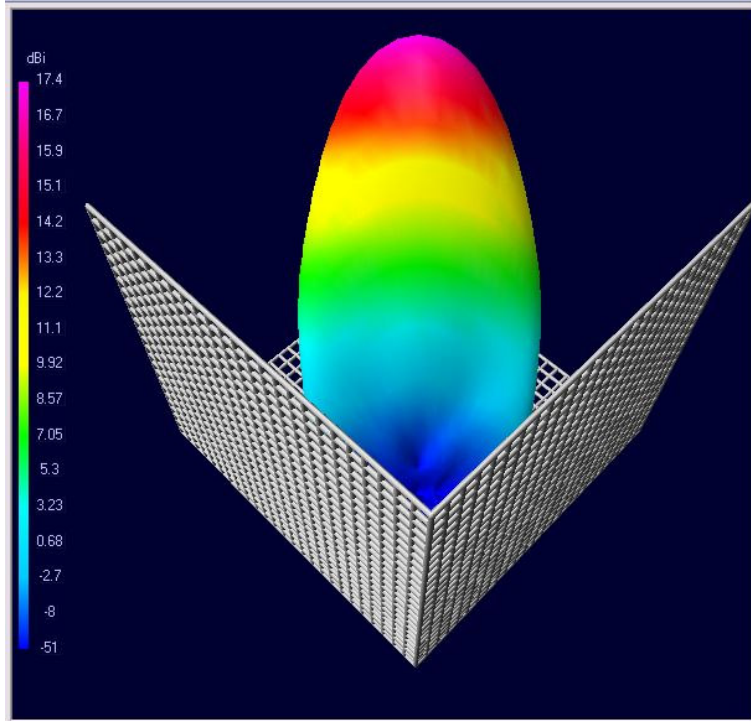
Ulazno prilagođenje i širina radnog opsega originalne antene na 75 oma



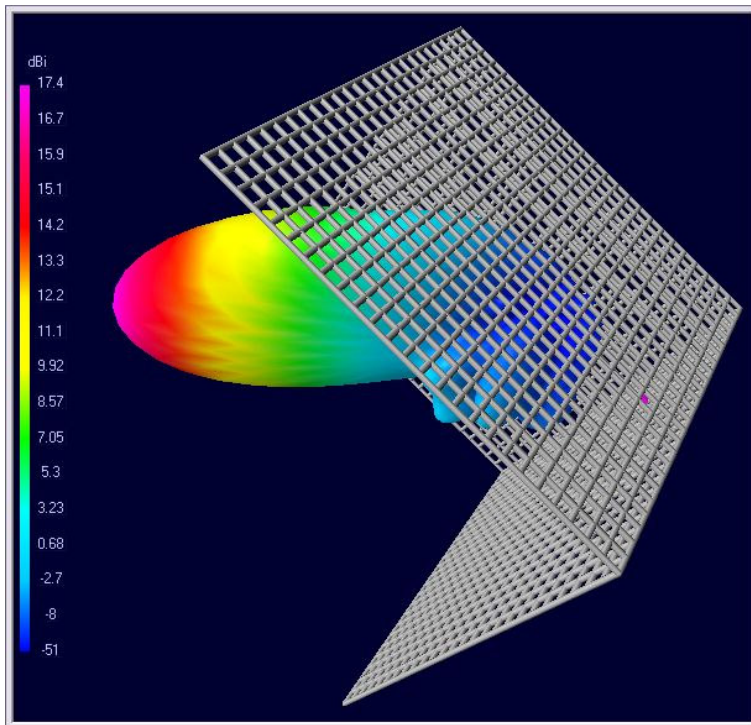
Ulazna impedansa modificovane antene



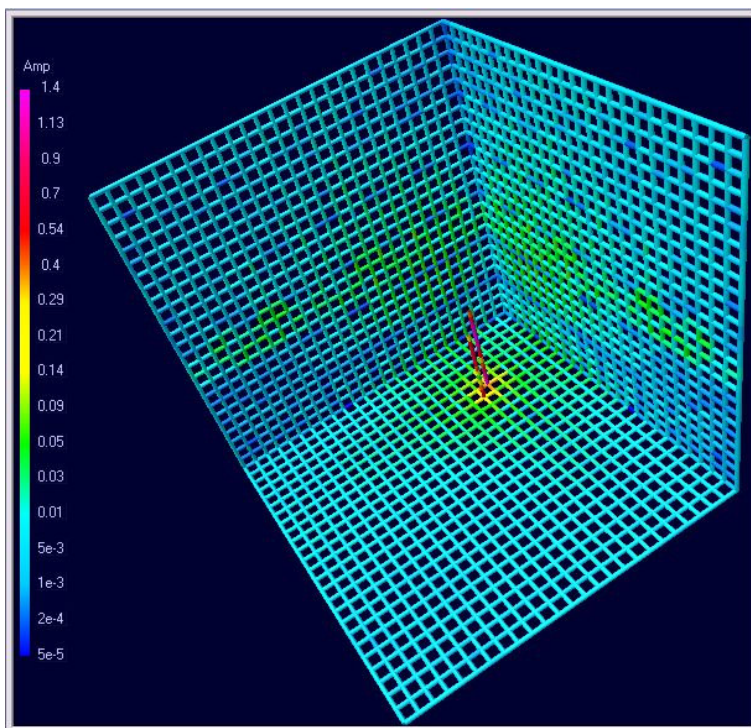
Pogled spreda na presek glavnog snopa zračenja antene



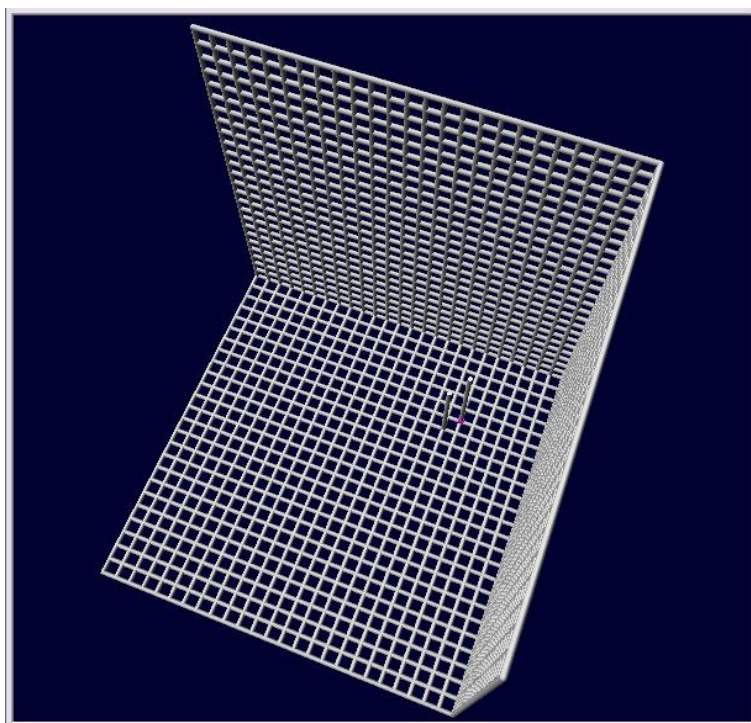
Pogled odozgo na horizontalni dijagram zračenja antene



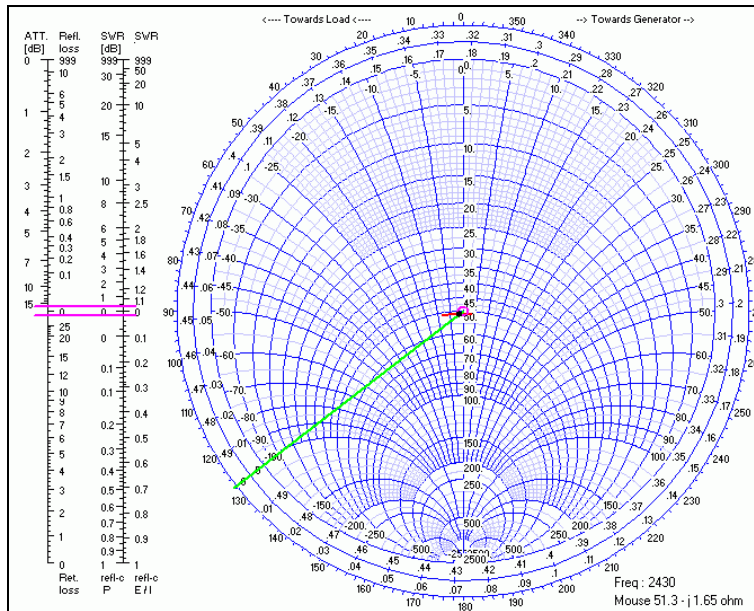
Pogled sa strane na vertikalni dijagram zračenja antene



Jačina struja u pojedinim delovima antene pri ulaznoj snazi od 100W



Pogled odozgo na modificovanu antenu sa pozicijama elemenata



Smith-ov dijagram sa ulaznom impedansom antene za opseg radnih frekvencija $f=2400 - 2450$ MHz i krugom SWR-a na 2430MHz

Mehanička konstrukcija modifikovane 3D korner reflektor antene

Reflektorska površina antene mora da bude urađena skoro kao da je izlivena iz jednog komada!

Pošto jedan spoj ipak mora da postoji između dve ravni, onda je najbolje da on bude između dve vertikalne ravni. **Tada je linija spoja paralelna sa zračućim elementom tako da ne preseca put strujama koje teku paralelno sa elementom koji ih zrači.**

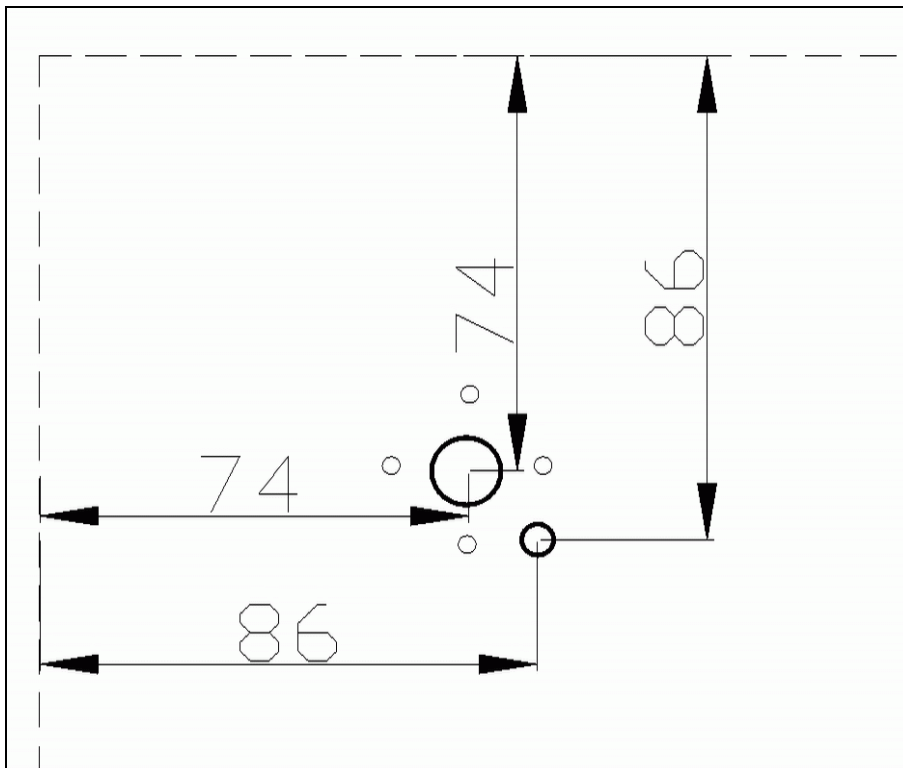
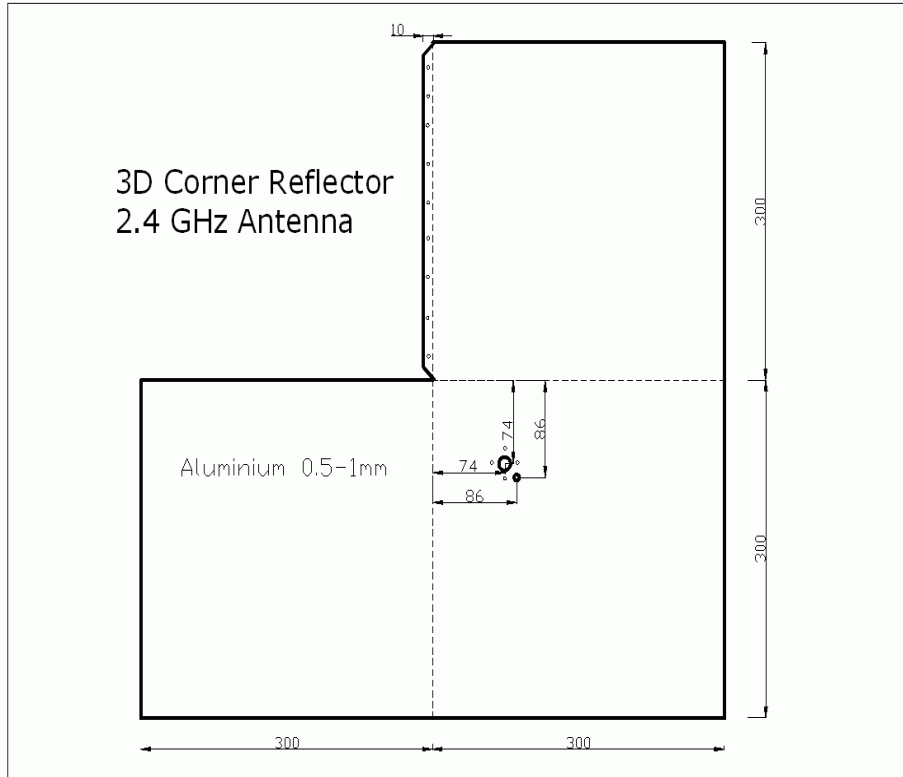
Ako je linija spoja pod pravim uglom na zračućem elementu onda slab spoj preseca struje koje teku u reflektoru i antena loše radi! To je veoma važno!

Zato treba iskrojiti lim za antenu upravo onako kako je to dato na crtežu i saviti ga pod pravim uglom po isprekidanim linijama!

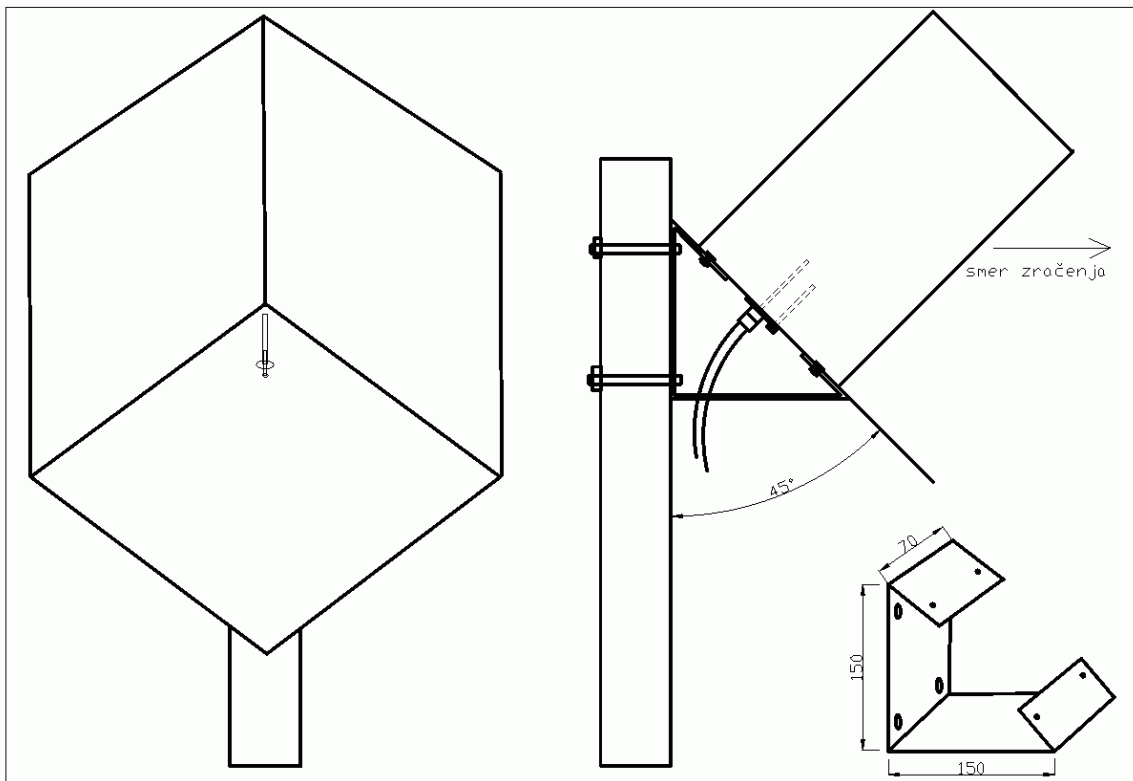
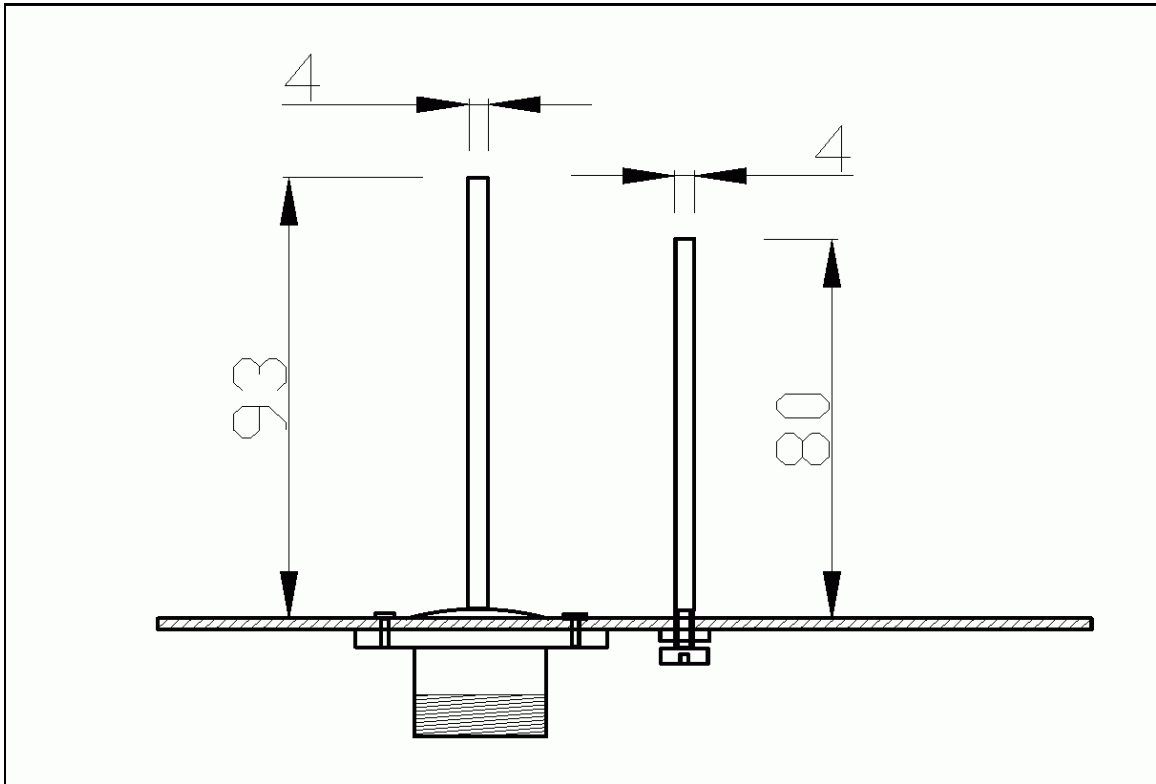
Osim dobrog naleganja površina koje se međusobno spajaju i broj zavrtnja ili pop nitni sa kojima je izvršen spoj treba da bude što veći, a najmanje na svakih 10-20mm! Ako se antena pravi od mesinganog ili bakarnog lima najbolje je sastav limova zalemiti sa spoljašnje strane antene.

Masa konektora i zavrtnj za podešavanje dužine dodatnog elementa moraju imati veoma dobar spoj sa reflektorskom površinom!

Dužine elemenata se mere od reflektorske površine do njihovog vrha kao što je dato na slici!



Detalji konstrukcije



Način pravilne montaže antene na stub

Preračunavanje antene za druge frekvencije

Ova antena, s obzirom na svoj princip rada, vrlo lako se može prilagoditi za rad i na bilo kojoj drugoj frekvenciji. Na nižim frekvencijama može se za reflektor, umesto lima, koristiti mreža sa otvorima manjim od **0.1** talasne dužine. Na vrlo visokim frekvencijama potrebna je preciznost izrade zračućeg i dodatog elementa i dobri spojevi.

Dimenzije modifikovane 3D kornjer reflektor antene u **talasnim dužinama** (Lambda) su sledeće:

Dimenzije reflektora (mereno od temena do kraja):	L = 2.5 x 2.5 x 2.5	Lambda
Dužina zračućeg elementa (mereno od reflektora):	DR = 0.754	Lambda
Dužina dodatog elementa (mereno od reflektora):	DI = 0.650	Lambda
Prečnik elemenata:	FI = 0.032	Lambda
Pozicija zračućeg elementa (mereno od temena):	x = 0.6, y = 0.6	Lambda
Pozicija dodatog elementa (mereno od temena):	x = 0.7, y = 0.7	Lambda

Talasna dužina se može izračunati po formuli:

$$\text{Lambda} = 299.8 / \text{frekv.}$$

Talasna dužina se dobija u **metrima** ako se frekvencija unese u **MHz**.

U Beogradu, marta 2005.