

Efikasan fid za ofset parabolične antene za 5.8 GHz

Dragoslav Dobričić, YUIAW

Rezime

U ovom radu je prikazana modifikacija 3D korner reflektor antene u cilju njenog prilagođavanja za korišćenje kao fida za SAT TV ofset parabolične antene na WLAN frekvencijama od 5.8 GHz.

Uvod

Problemi koji se javljaju pri iluminaciji plitkih ofset parabola, pored onih vezanih za efikasnu upotrebu parabola uopšte, dodatno su otežani specifičnom geometrijom samog paraboličnog ogledala.

Postavljanje fida tako da se njegov fazni centar tačno poklopi sa fokusom ofset parabole i njegovo usmeravanje tako da maksimum zračenja padne u geometrijski centar eliptične reflektorske površine nisu uopšte intuitivni kao kod klasičnih paraboličnih antena. Zato nisu retke zabune i pogrešno postavljeni fidovi koji ne obasjavaju pravilno ofset parabolu, smanjujući tako njenu efikasnost i dobit (pojačanje).

Klasična i ofset parabola

Parabolična površina ili **paraboloid** nastaje rotacijom parabolične krive oko njene ose simetrije. Specifičnost tako dobijene površine je da kada na nju padne snop zraka paralelan sa osom rotacije, on biva reflektovan tako da svi zraci prolaze i seku se u jednoj zajedničkoj tački poznatoj kao fokus, slično kao što optička sočiva fokusiraju svetlosne zrake u svom fokusu.

Kada se od (matematički beskonačne) površine paraboloida odseče deo, dobija se parabolični reflektor ili ogledalo. Odsecanje tog dela može se izvesti na mnogo načina, ali svi oni mogu biti svrstani u dve grupe: na one čija je ravan sečenja **normalna** na osu simetrije i na one čija ravan sečenja nije pod pravim, već pod nekim **oštrim ili tupim** uglom.

Kada je ravan koja seče paraboloid **normalna** na osu simetrije dobija se **okrugao** odsečak paraboloida, čiji je fokus u centru, tj. na osi simetrije na određenom rastojanju od geometrijskog centra površine, zavisno od toga gde se nalazi ravan sečenja. Obično je rastojanje ravni sečenja manje od fokusnog rastojanja i zato se kod većine parabola fokus nalazi izvan otvora parabole. **Tako dobijeni odsečak je klasična parabolična antena.**

Svi tako dobijeni odsečki paraboloida imaju jednu veličinu po kojoj mogu biti grupisani u pogledu karakteristika. To je odnos fokusnog rastojanja od centra (**F**) i prečnika odsečka parabolične površine (**D**). Sve parabolične antene koje imaju isti odnos **F/D** mogu se iluminirati istim fidom bez obzira na to koliki im je prečnik, tj. da li su male ili velike, jer su im i sve ostale geometrijske dimenzije proporcionalne.

Odnos **F/D** je takođe ključan pri određivanju karakteristika fida kojim parabola treba da bude iluminirana. Razlog ovome je što odnos **F/D** određuje ugao pod kojim se iz fokusa vide ivice parabole. Što je odnos **F/D** manji, parabola je dublja i ovaj ugao je veći, i obrnuto, ukoliko je **F/D** veći, utoliko je antena plića i ovaj ugao je manji.

Pošto fid treba da bude tako konstruisan da zrači samo u smeru parabole, a da u svim ostalim smerovima zrači što manje, odatle proizilazi da odnos F/D , odnosno ugao pod kojim fid vidi ivice parabole određuje i optimalni dijagram zračenja fida za parabolou.

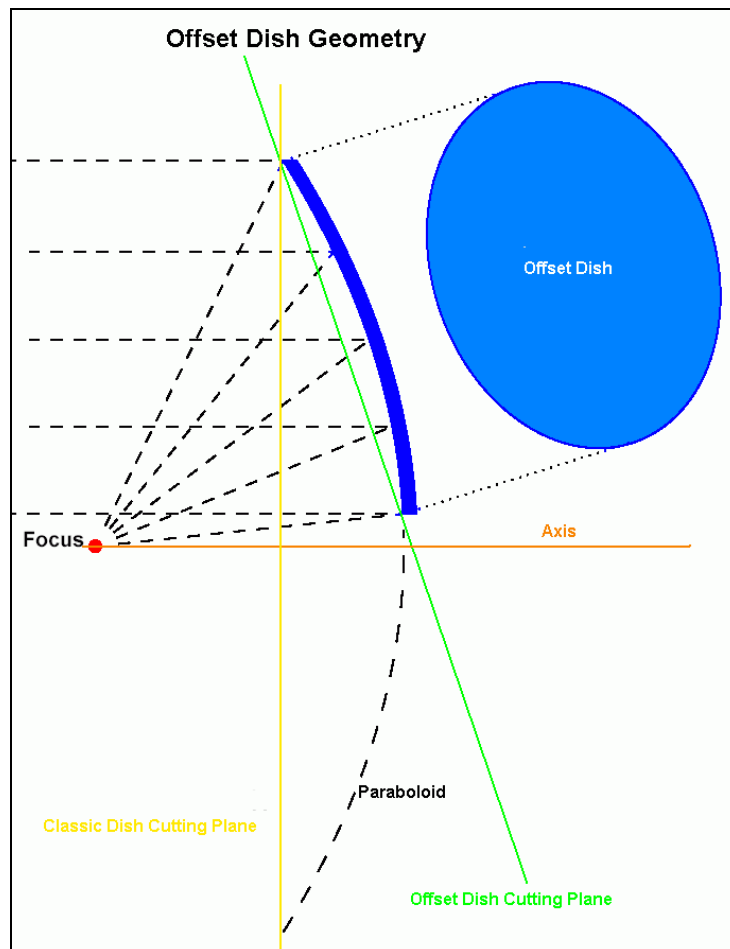
Dakle, svaki F/D ima svoj optimalni fid, nezavisno od svih ostalih veličina!

Prema tome, kada se određuje optimalni fid za neku parabolou važan je jedino njen F/D !

Kada je ravan koja seče paraboloid pod nekim **oštrim ili tupim uglom** u odnosu na osu dobija se **eliptičan** odsečak paraboloida, čiji fokus nije u geometrijskom centru parabolične površine već je manje ili više pomeren prema periferiji, zavisno od ugla pod kojim je vršeno odsecanje. **Time se dobija ofset parabolična antena.**

Pošto ugao sečenja može biti bilo koji, onda i pozicije fokusa mogu biti na različitim mestima u odnosu na geometrijski centar dobijene parabolične površine. Međutim, i pored ove raznolikosti veličina, F/D i dalje ostaje kao jedini faktor koji određuje karakteristike optimalnog fida za datu ofset parabolou.

Kod ovako arbitrarno izabranog odsečka paraboloida postavlja se problem određivanja F/D odnosa. Ne ulazeći u neke specifičnosti i moguće egzibicije različitih proizvođača ofset parabola, generalno se može reći da je fokusno rastojanje F približno jednako rastojanju od fokusa (kod **SAT TV** antena: od otvora talasovoda konvertora) do geometrijskog centra ofset parabole. Za prečnik D se uzima manja osa elipse, tj. širina antene. Kod ofset paraboličnih antena F/D je obično oko dva puta veći nego kod klasičnih.



Sl. 1. Geometrija ofset parabole u odnosu na klasičnu

Optimalni fid

Optimalni fid za neku datu parabolu mora da ispunjava nekoliko važnih karakteristika:

1. Ugao zračenja glavnog snopa, između tačaka u kojima je pojačanje **-10 dB** u odnosu na maksimalnu vrednost, mora da odgovara uglu pod kojim se iz fokusa vide leva i desna ivica ofset antene. Zapravo, to je ugao sa temenom u fokusu i kracima koji tangiraju ivice paraboličnog reflektora. Ugao zračenja fida i u horizontalnoj i u vertikalnoj ravni, mora da bude isti, bez obzira na eliptičnost parabole.

2. Fazni centar fida mora biti dobro definisan i stabilan pri promeni frekvencije unutar radnog opsega. Promena faze u okviru celog ugla iluminacije mora biti što manja.

3. Karakteristike fida ne smeju se menjati zbog prisustva paraboličnog reflektora i noseće strukture.

4. Dijagram zračenja fida mora biti vrlo čist, tj. sporedni snopovi zračenja moraju biti što bolje potisnuti.

5. Struktura fida treba što manje da zadire unutar fokusnog konusa, tj. u prostor između fokusa i površine antene. Zato je dobro da se fazni centar fida nalazi na prednjoj ivici ili neposredno ispred antenske strukture.

Nije nimalo lak posao ispuniti sve ove zahteve. Stepem iskorišćenja (efikasnost) i dobit (pojačanje) parabolične antene direktno zavise od toga kako su ovi zahtevi ispunjeni.

Zbog toga se u praksi često prvo napravi dobar fid, pa se tek onda prema njemu izabere ili napravi parabolični reflektor sa onim **F/D** koji mu najbolje odgovara.

Međutim, ako se želi iskoristiti jeftina produkcija **SAT TV** ofset parabola za rad na **WLAN** frekvencijama, onda se mora pokušati sa konstrukcijom fida koji odgovara tim parabolama. **SAT TV** antene najčešće imaju **F/D** u opsegu od **0.7–0.9**. Za efikasnu iluminaciju potreban je fid sa čistim dijagramom koji ima podjednaku širinu glavnog snopa u obe ravni i dobit oko **12-14 dBi**.

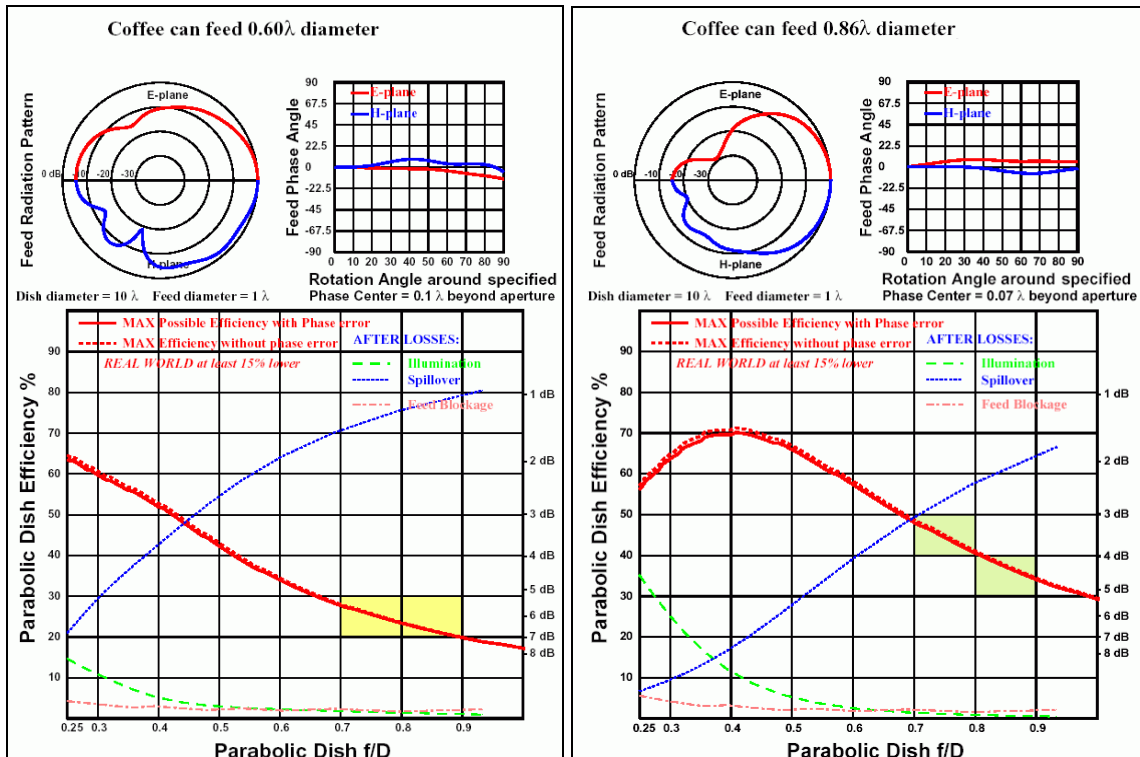
Ovaj podatak u startu isključuje neke antene kao efikasne fideve za **SAT TV** ofset parabole. Među njima je, na primer, **kantena** koja ima dobit oko **6-7 dBi** i veoma je neefikasna kao fid za ofset parabole. Ona je prihvatljiva samo za parabole koje imaju **F/D** manji od oko **0.5**. **Bikvad** je nešto bolji sa svojih **10 dBi** dobiti, a njegova optimalna verzija sa ujednačenijim dijagramima u obe ravni i **11 dBi** dobiti je još bolja.

Tek je dodavanje direktorskog elementa kod **2 el. bikvad fida** dalo visoke vrednosti efikasanosti iluminacije ofset parabola.

Međutim, poseban problem predstavlja opseg od **5.8 GHz** gde postoje velike teškoće pri gradnji bikvad antene zbog veoma malih tolerancija i visoke preciznosti koju treba postići.

3D korner reflektor antena, a posebno njena skraćena verzija, su dobri kandidati za fid, ali problem je u tome što ona ima dosta neujednačen dijagram - u horizontalnoj ravni je dosta širi nego u vertikalnoj. Sa smanjenjem antene na **1.7 tal. dužina**, da bi se smanjila dobit na potrebnih **13 dBi**, ova neujednačenost se još više povećava.

Zato sam izvršio modifikaciju ove antene u cilju dobijanja ujednačenijeg dijagrama, o čemu će biti reči u nastavku ovog teksta. Dobijen je, iako ne baš savršen, ipak vrlo jednostavan i pouzdan fid za **5.8 GHz** opseg sa prihvatljivom efikasnošću.



Sl. 2. Efikasnost kantene prečnika 31 i 44 mm kao fida za parabolu na 5.8 GHz

Za one koji će čitajući ovo reći da su probali **kantenu, bikvad, 3D korner** ili bilo koju **nasumično** izabranu antenu kao fid za ofset parabolu i da **'to radi'**, reći ću samo toliko da **svaka antena ili parče žice koje se stavi približno u fokus ofset parabole mora da radi onako kako je na to prisiljavaju fizički zakoni!**

Dakle, nije pitanje: **'da li to radi?'**. Pitanje je: **'kako to radi?'** u odnosu na to kako bi **moglo i trebalo!**

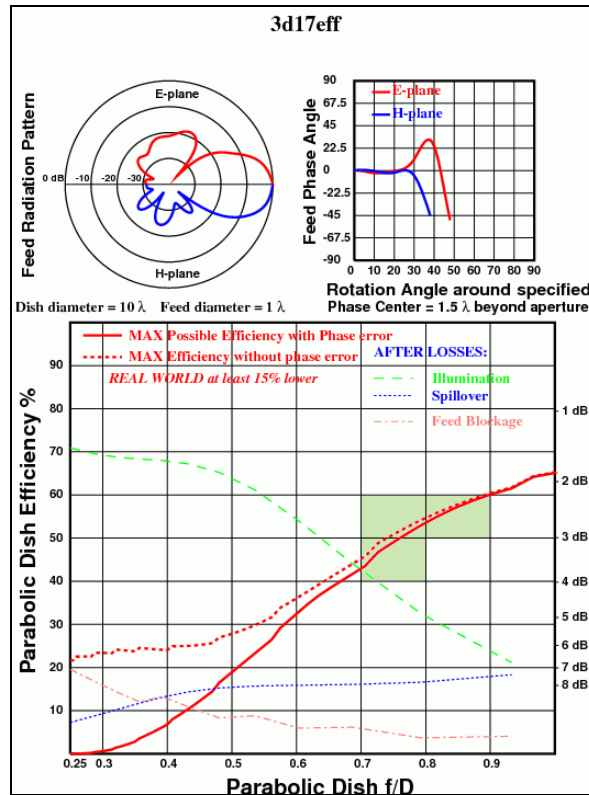
Priloženi su dijagrami efikasnosti **kantena** različitih prečnika kao fidovala za parabole sa različitim **F/D** na kojima se jasno vidi koliko efikasno rade sa ofset parabolama čiji je **F/D** u opsegu **0.7-0.9** (obojen opseg).

Vidi se da ofset parabola sa kantenom čiji je prečnik **0.6 talasnih dužina**, tj. oko **31 mm**, ima efikasnost od oko **25%**, što za posledicu ima smanjenje dobiti antene za **6 dB** u odnosu na teorijsku vrednost, a to je upravo onoliko koliko bi se dobilo sa **duplo manjom**, efikasno iluminiranom ofset parabolom!

Čak ni kantena sa prečnikom od **0.86 talasnih dužina**, ili **44 mm**, ne radi sjajno. Ona daje oko **4 dB** gubitka dobiti antene u odnosu na teorijsku vrednost pri efikasnosti od **100%**. Veći prečnici kantene imaju problem sa pojavom **viših modova EM talasa** i zbog toga vrlo problematičnim dijagramom i faznim centrom, tako da se ne preporučuju.

Dodatak konusnog levka može delimično da popravi situaciju, ali takve **horn** antene imaju neujednačene dijagrame u vertikalnoj i horizontalnoj ravni, što je vrlo nepoželjno za antene koje pretenduju da budu dobar i efikasan fid za parabolu.

3D korner reflektor antena dimenzije **1.7 tal. dužina** ima još uvek preuzak vertikalni dijagram i odgovara samo za jako plitke ofset parabole, sa **F/D od oko 1 i više**.



Sl. 3. Efikasnost nemodifikovane 3D korner reflektor antene od 1.7 tal. duž. kao fida za parabolu

Zarubljeni 3D korner reflektor fid za 5.8 GHz

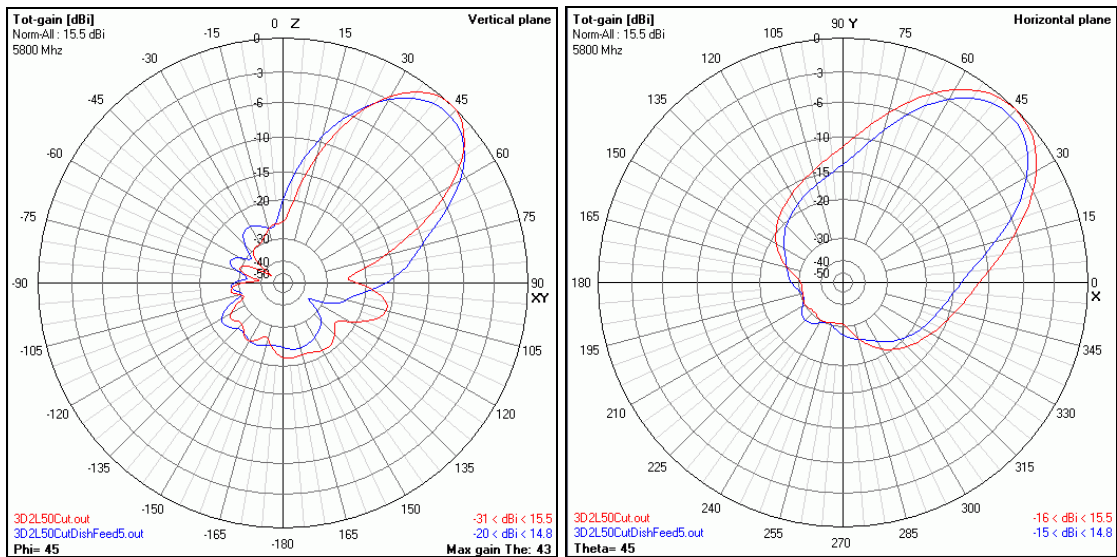
Kao što se sa gornje slike vidi, **3D korner reflektor** antena ima relativno dobru efikasnost kada iluminira parabole čiji **F/D** iznosi **0.9 i više**. Razlog ovome je dosta uzak vertikalni ugao zračenja. Velika razlika u uglovima zračenja u vertikalnoj i horizontalnoj ravni smanjuje ukupnu efikasnost iluminacije parabole. Naime, vertikalni ugao zračenja je preuzak za efikasnu iluminaciju SAT TV ofset parabola a horizontalni preširok, kao što se to vidi na slikama. Očigledno je da bi se **3D korner reflektor** antena mogla prilagoditi i za ofset parabole sa manjim **F/D** ako bi se dijagram u vertikalnoj ravni proširio a horizontalni suzio tako da budu približni i u isto vreme održale sve druge dobre osobine ove jednostavne antene. Pošto je proširenje i suženje dijagrama moguće samo promenom geometrije reflektora, to je promena dimenzija i oblika reflektora bio put kojim sam krenuo. Međutim, promena geometrije na ovako geometrijski simetričnom reflektoru sadržavala je opasnost od gubitka nekih od osnovnih svojstava u pogledu geometrijske optike na čijim principima ova antena funkcioniše. To bi odmah značilo i kompletnu promenu većine bitnih i korisnih osobina antene.

Malim promenama, zapravo postupnim uklanjanjem dela reflektora koji je odgovoran za suženje vertikalnog snopa zračenja, uspeo sam polako da proširim vertikalni dijagram. Istovremeno sam radi suženja horizontalnog dijagrama zračenja povećavao dužinu stranica reflektora. Uz stalno monitorisanje dobijenih rezultata doveo sam uglove dijagrama zračenja u obe ravni do približnih vrednosti potrebnih za efikasnu iluminaciju parabola čiji je F/D oko 0.7-0.9. Rezultat je na kraju bio optimalni dijagram za upotrebu

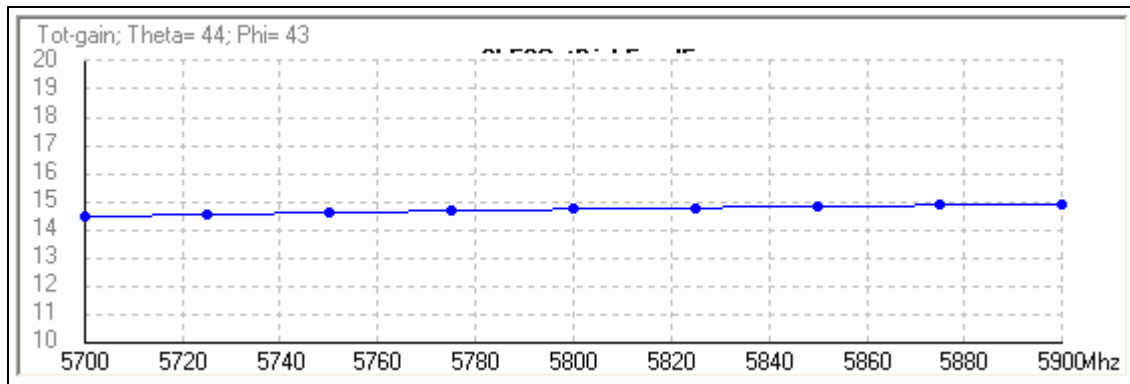
sa **SAT TV** ofset parabolama. Ulazna impedansa antene, širina frekvencijskog radnog opsega i čistoća dijagrama antene ostali su gotovo nepromenjeni.

Vertikalni dijagram je, pored ciljanog proširenja glavnog snopa, postao i znatno čistiji, što je dodatno popravilo karakteristike fida.

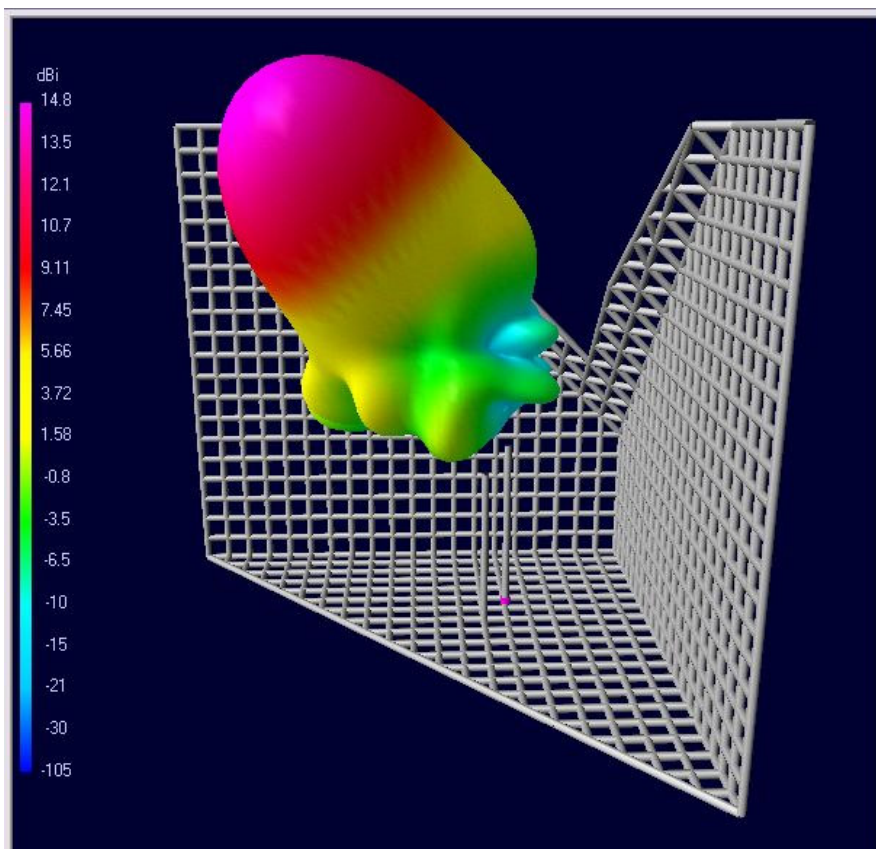
Dobit fid antene je praktično nepromenljiva (oko **14.8 dBi**), a ulazno prilagođenje je ispod **1.5** u celom radnom opsegu.



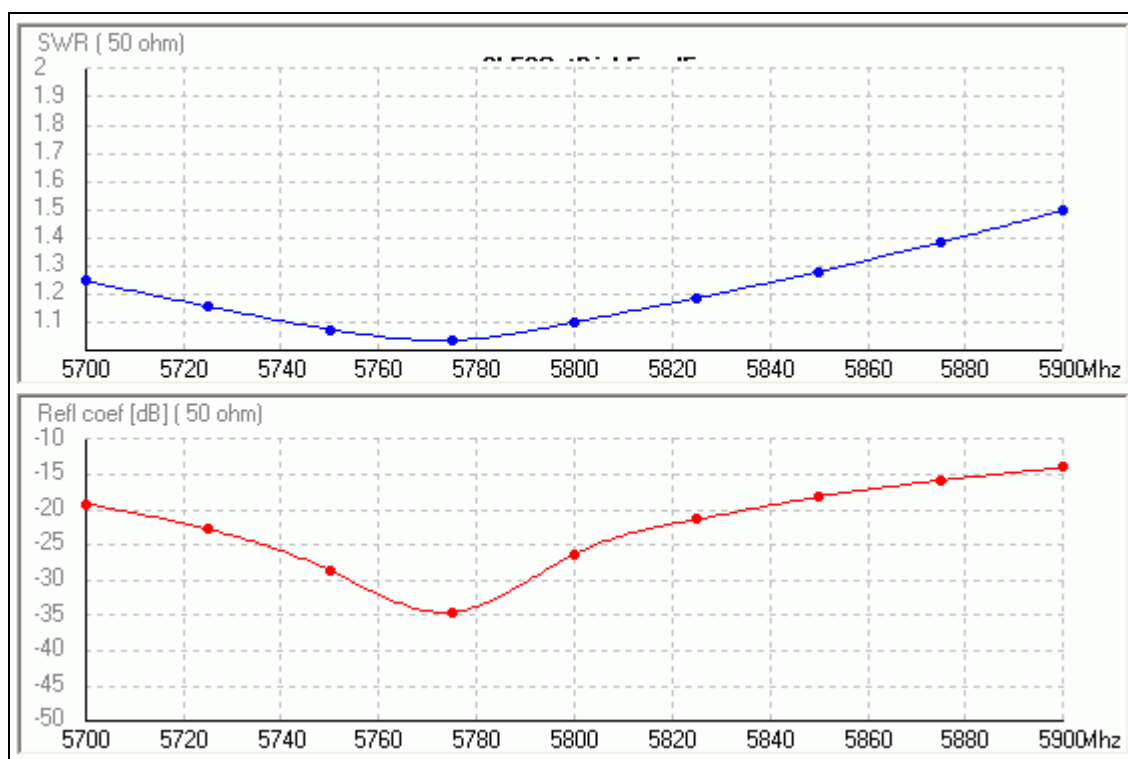
Sl. 4. Uporedni dijagrami zračenja skraćene 3D korner reflektor antene dim. 2 tal. dužine i zarubljenog 3D korner fida



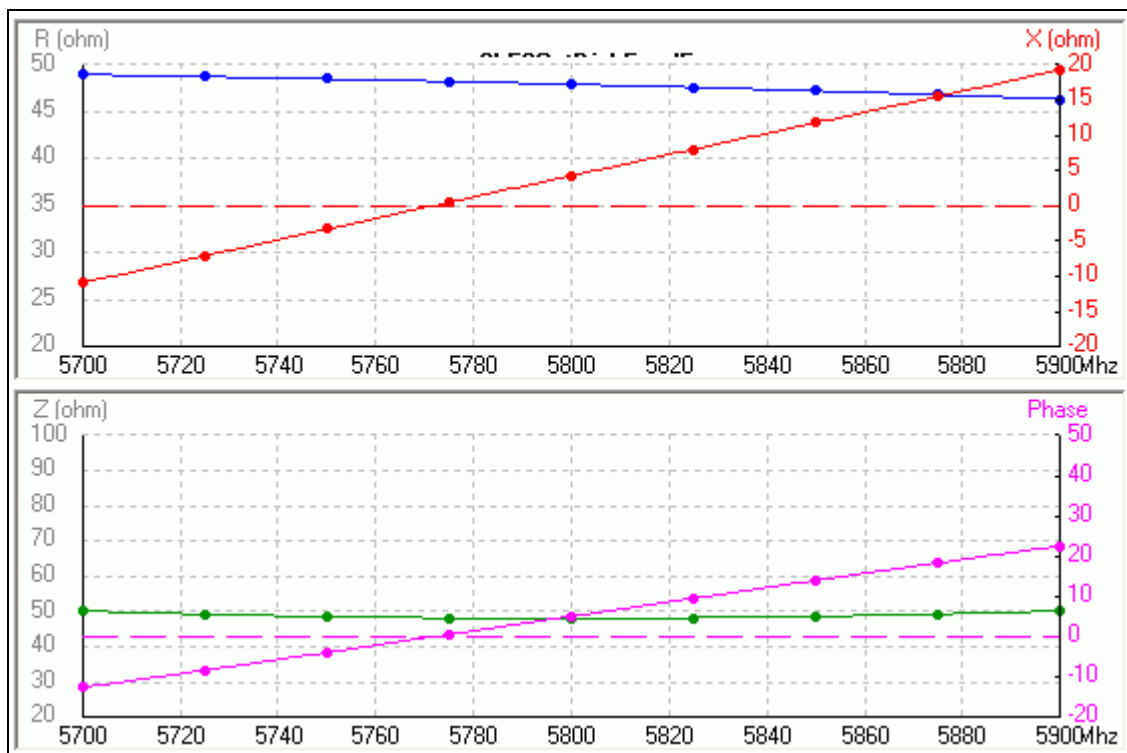
Sl. 5. Dobit (pojačanje) zarubljenog 3D korner fida u zavisnosti od frekvencije



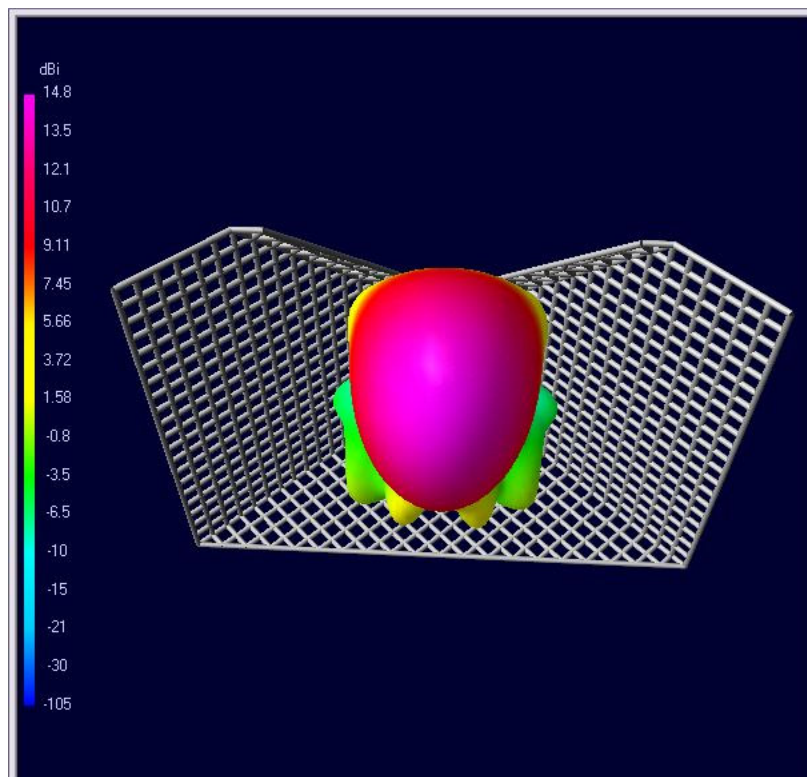
Sl. 6. Prostorni dijagram zračenja i izgled zarubljenog 3D korner fida



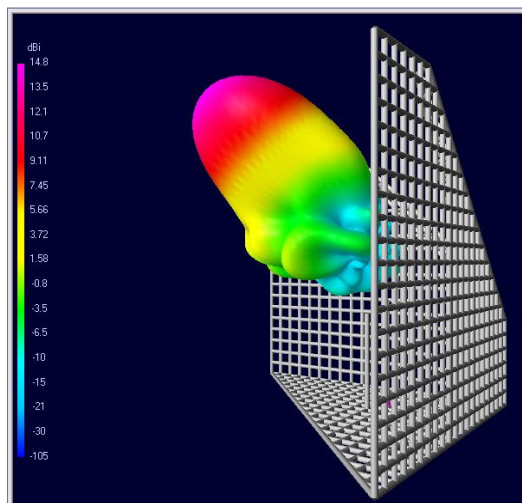
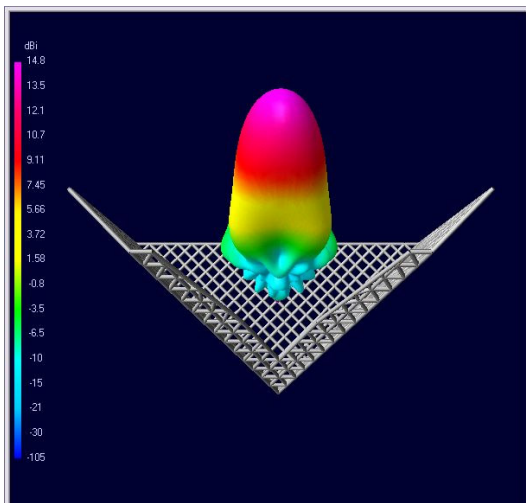
Sl. 7. Ulazno prilagođenje zarubljenog 3D korner fida u zavisnosti od frekvencije



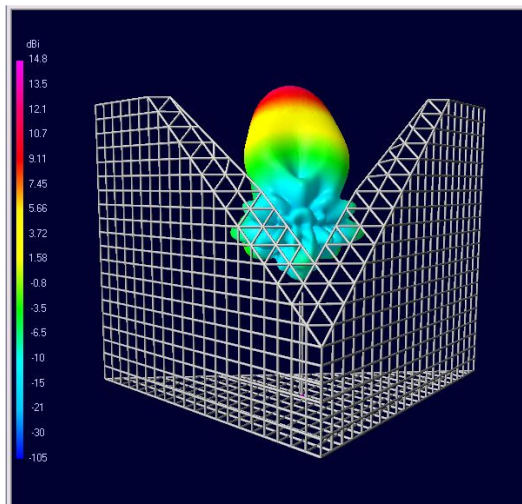
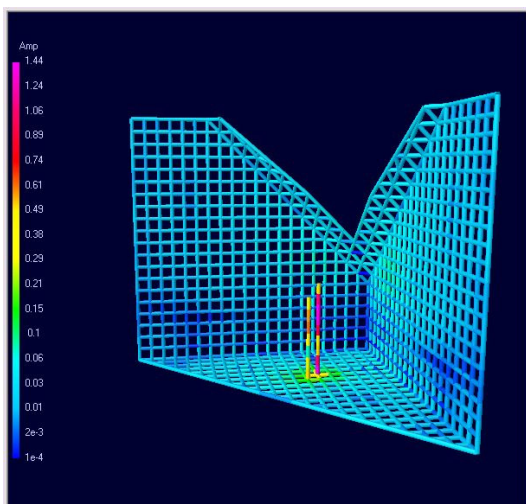
Sl. 8. Promena ulazne impedanse zarubljenog 3D korner fida u zavisnosti od frekvencije



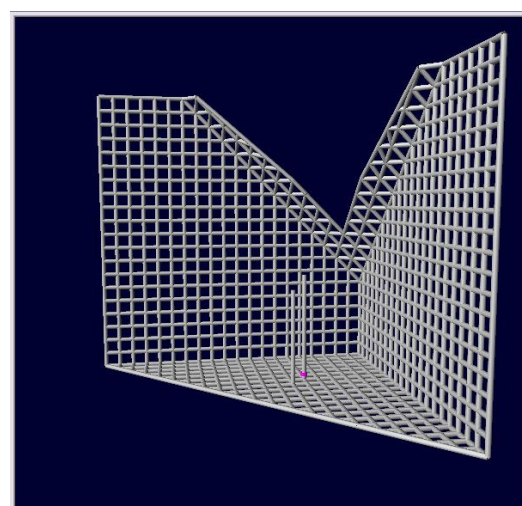
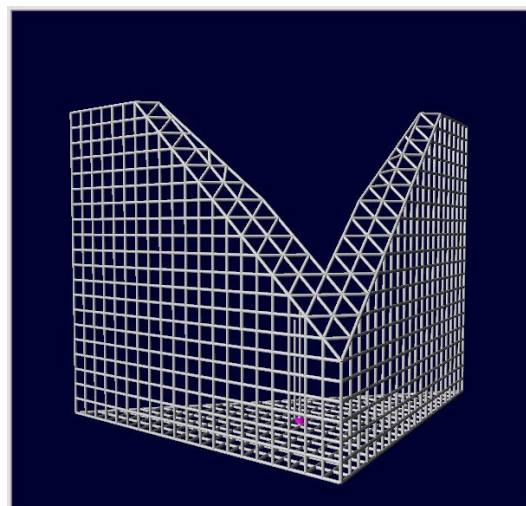
Sl. 9. Izgled glavnog snopa zračenja zarubljenog 3D korner fida



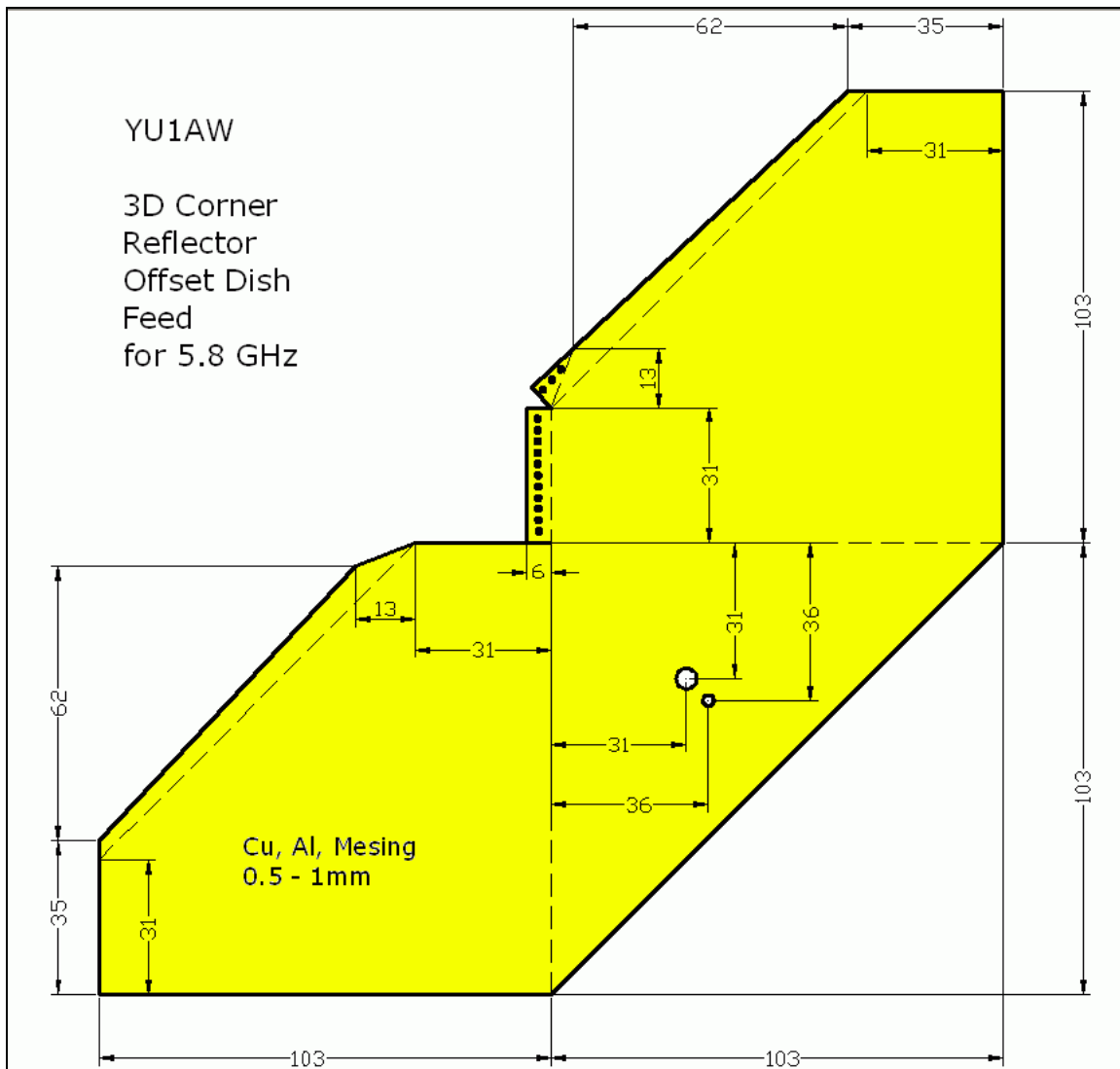
Sl. 10. Horizontalni i vertikalni dijagrami zračenja zarubljenog 3D korner fida



Sl. 11. Struje u elementima i dijagram zračenja iza zarubljenog 3D korner fida



Sl. 12. Izgled zarubljenog 3D korner fida sa modificovanim oblikom reflektora



Sl. 13. Dimenzije za krojenje i linije savijanja reflektora zarubljenog 3D kornjer fida

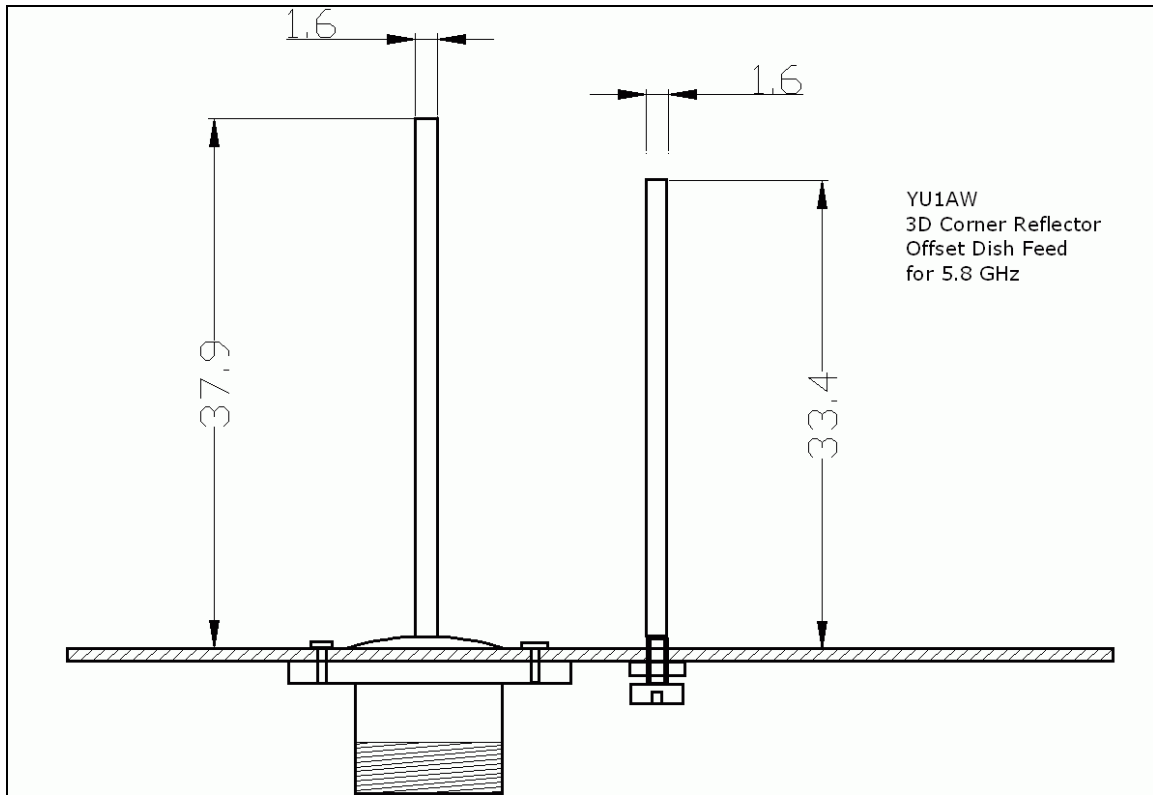
Mehanička konstrukcija fida

Radijator i direktor su napravljeni od dva komada bakarne žice debljine **1.6 mm** i **ukupne dužine 37.9 mm** za radijator i **33.4 mm** za direktor, mereno od površine reflektora!

Reflektorska površina može biti napravljena isključivo od bakarnog, aluminijumskog ili mesinganog lima.

Reflektor se iseče prema datim dimenzijama i savije po isprekidanim linijama pod pravim uglom. Zadnja strana na spoju može biti zalemljena ako je reflektor od bakra ili mesinga i tada preklop nije neophodan. Može biti i pričvršćena tako što je preklapljeni deo zašrafljen ili nitovan pop-nitnama vrlo gusto. **Preklop uvek treba da bude sa spoljne strane reflektora.**

Probana je i fid antenna kod koje je donja reflektorska površina ostavljena neskracena radi bolje mehaničke čvrstine. Uticaj ove dodatne površine je vrlo mali, mada malo sužava vertikalni dijagram i time malo kvvari efikasnost.



Sl. 14. Dimenzije elemenata zarubljenog 3D korner fida

Zaštita od atmosferskih uticaja

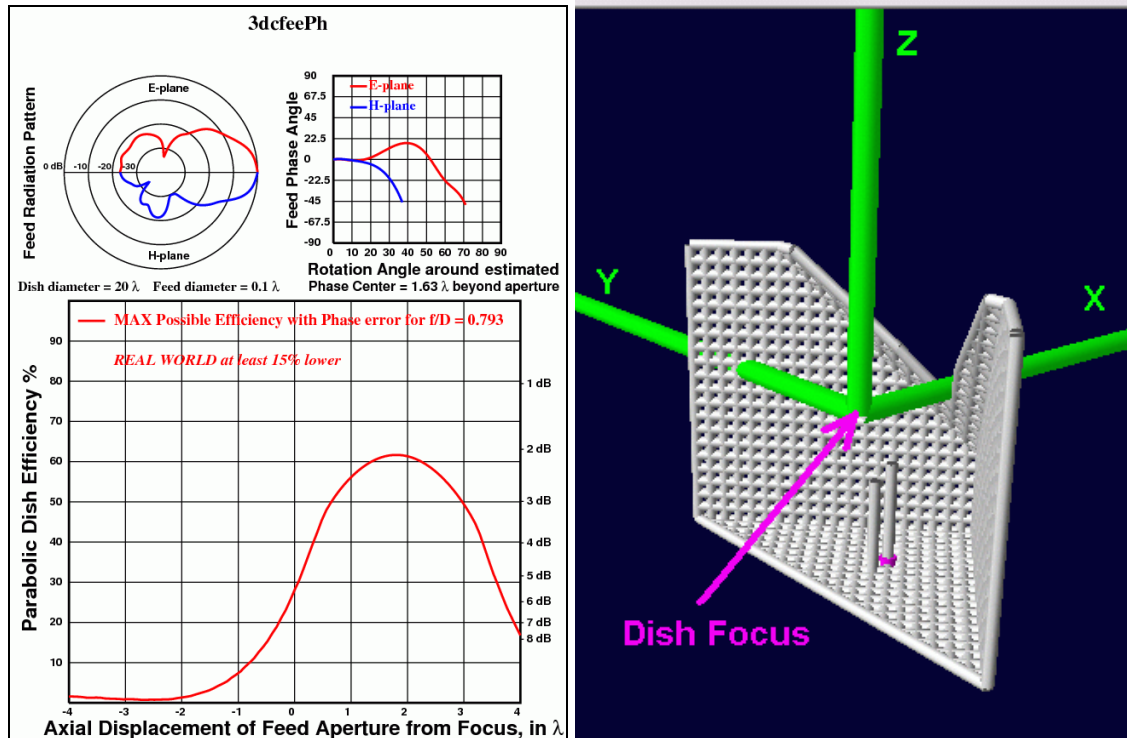
Ovu zaštitu najbolje je izvesti tako što se antena još dok je metal svetao i bez korozije prefarba auto-lak sprejom u **tankom sloju**. Prethodno se gornji otvoreni deo priključka u tankom sloju prevuče polietilenom pomoću pištolja koji tope polietilenske šipke i u tečnom stanju nanose ovu plastičnu masu. Sloj treba da bude nepropustan za vodu, **ali što tanji!** Dakle, **pogrešno** je stavljati velike količine plastične mase u debelom sloju na spoj, jer ničemu ne služi osim što kvari prilagođenje antene! Takođe, na ovom mestu **upotreba silikona je zabranjena** zbog njegove hemijske agresivnosti i velikih gubitaka na visokim frekvencijama!

Postavljanje fida u fokus ofset parabole

Analiza faznog centra **zarubljenog 3D korner fida** je pokazala da se on nalazi **1.63 talasnih dužina ili 83 mm** ispred reflektora mereno od temena duž **velike dijagonale koja je pod 45 stepeni u odnosu na sve tri reflektorske ravni, tj. u pravcu maksimalnog zračenja**. Ta tačka (koja je na slici data kao koordinatni centar) mora što preciznije da se dovede u fokus parabole! Pravac maksimalnog zračenja glavnog snopa mora da bude usmeren u geometrijski centar eliptične površine parabole.

Kada se koriste **SAT TV** ofset parabole fokus je određen položajem **SAT TV** konvertora. Fokus parabole praktično leži na samom ulazu u talasovod konvertora. Meranjem rastojanja ulaza konvertora prema najmanje **3** fiksne tačke na ivici parabole treba sačuvati podatak o položaju fokusa kako bi se on precizno odredio i restaurirao kada se skine **SAT**

TV konvertor i originalni nosač ili se na njemu izvrše neophodne prepravke da bi mogao da nosi drugačiji fid. Ovo je vrlo važno jer se često desi da se posle prepravke nosača fida izgubi podatak o tome gde je zaista fokus parabole i ne može se više restaurirati ako nema podataka, tj. prostornih koordinata u odnosu na paraboličnu površinu.



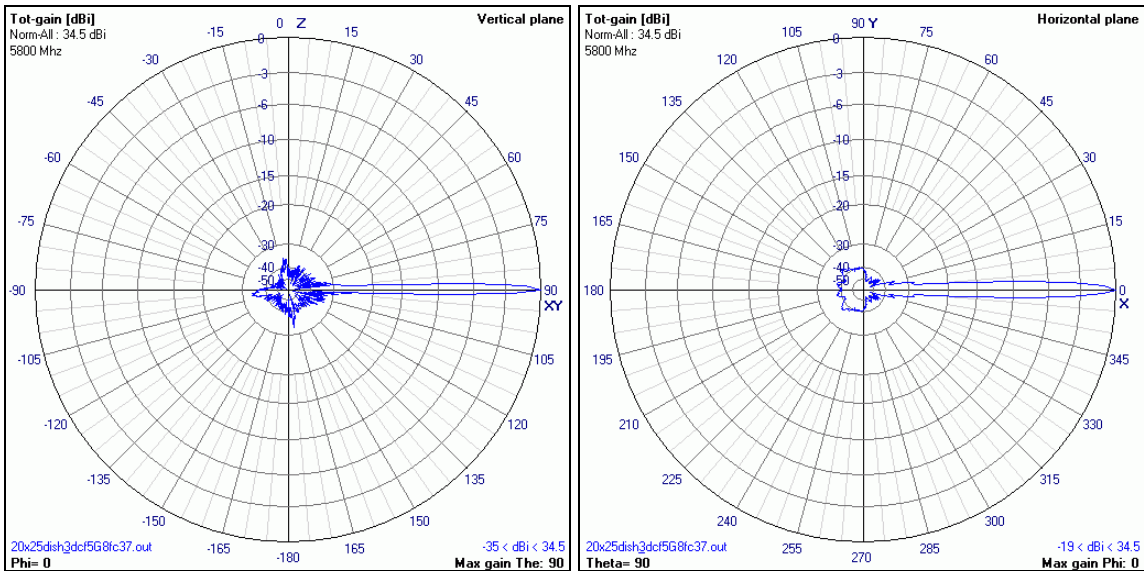
Sl. 15. Određivanje položaja faznog centra zarubljenog 3D kornjer fida i njegovo mesto u odnosu na fokus koji je u koordinatnom centru

Dobijeni rezultati sa ofset parabolom

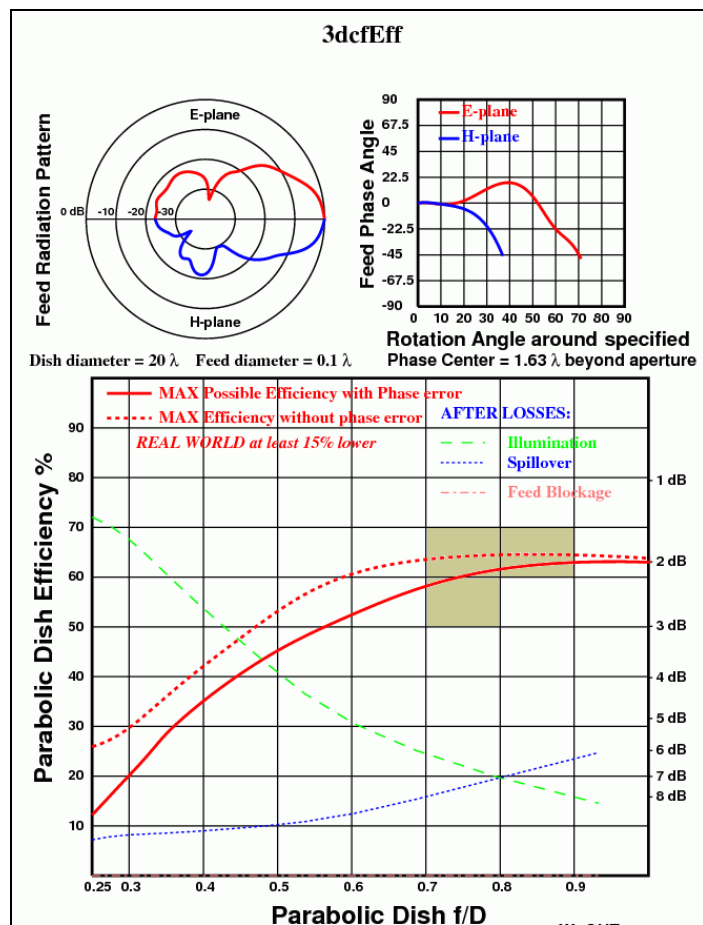
Analizom **zarubljenog 3d kornjer fida** sa pravougaonom ofset parabolom dimenzija **100x110 cm** i **F/D=0.8** dobijeni su vrlo dobri rezultati. Potvrđena je visoka efikasnost na osnovu postignute dobiti parabolične antene u odnosu na teorijsku. Preračunavanje efikasnosti iluminacije parabole iz njene dobiti dalo je vrednost oko **57%**, što se relativno dobro slaže sa proračunima efikasnosti izvedenih iz oblika dijagrama fida datih na **Sl. 17**. Eliptična parabola istih dimenzija imala bi oko **1 dB** manju dobit od ove analizirane pravougaone pri istoj efikasnosti zbog manje geometrijske površine eliptične parabole. Još jedna potvrda da se radi o vrlo dobrom fidu je čistoća dobijenog dijagrama zračenja parabole. Prvi par sporednih snopova zračenja je potisnut preko **25 dB**, a odnos napred/nazad je preko **35 dB**.

Maksimalna dobit antene se postiže kada je fazni centar fida tačno u fokusu parabole i kada je velika dijagonala zarubljenog 3d kornjer fida, tj. maksimum dijagrama zračenja glavnog snopa, usmeren tačno u geometrijski centar parabolične površine koji se nalazi u preseku velike i male ose elipse.

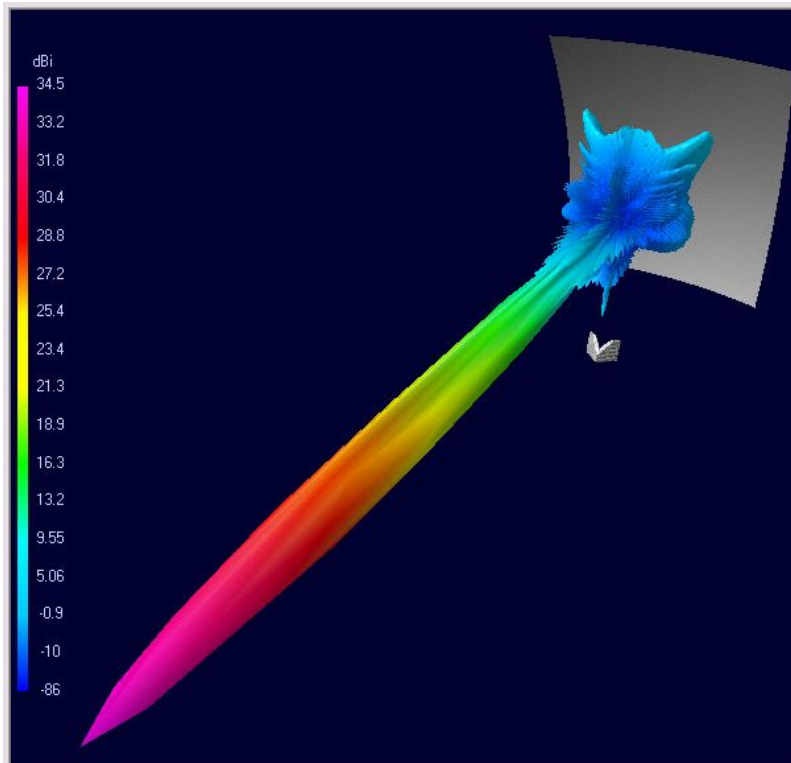
Ulazna impedansa fida je ostala praktično nepromenjena kada je stavljen u fokus parabole, što se i očekivalo od ove antene poznate po svom niskom **Q** faktoru.



Sl. 16. Vertikalni i horizontalni dijagrami zračenja ofset parabole sa zarubljenim 3D korner reflektor fidom



Sl. 17. Efikasnost zarubljenog 3D korner fida za parabole u zavisnosti od njihovog odnosa F/D



Sl. 18. Prostorni dijagram zračenja ofset parabole sa zarubljenim 3D kornier fidom



Sl. 19. Izgled montiranog zarubljenog 3D kornier fida na SAT TV ofset paraboli



Sl. 20. Izgled montiranog zarubljenog 3D korner fida u fokusu ofset parabole

Zaključak

U ovom radu je preciznim računarskim simulacijama pokazana i u praksi potvrđena mogućnost korišćenja **zarubljenog 3D korner reflektor fida** za efikasnu iluminaciju **SAT TV** ofset paraboličnog ogledala. Veoma čist dijagram zarubljenog 3D korner reflektor fida sa približno podjednakom širinom glavnog snopa u obe ravni pokazao se kao veoma jednostavan i efikasan fid za ofset parabolične antene čiji je **F/D** između **0.7** i **0.9**. Kao rezultat dobijena je visoka efikasnost, usmerenost i čistoća dijagrama **SAT TV** ofset parabolične antene na **5.8 GHz**.

Zahvaljujem se momcima iz BG Wireless-a, a posebno spider-u na pomoći oko praktične realizacije i provere ovog fida. Fid je namenski projektovan za 5.8 GHz linkove u okviru BG Wireless mreže i do sada je uspešno isproban na rastojanju od oko 50 km.

Literatura

Tekstovi na mom sajtu (<http://yu1aw.ba-karlsruhe.de/ANT.htm>):

1. Parabolične antene za SHF opsege
2. Efikasan fid za ofset parabolične antene za 2.4 GHz
3. Skraćena 3D korner reflektor antena za 2.4 GHz
4. Modifikovana 3D korner reflektor antena za 2.4 GHz
5. Kada miš pokisne (uticaj kiše na rad antena)

Strana literatura:

6. The W1GHZ Online Microwave Antenna Book
7. A.W. Love, Reflector Antennas, IEEE Press, 1978.
8. John Kraus, Antennas, McGraw Hill, 1956.

U Beogradu, oktobra 2005.