

Efikasan fid za ofset parabolične antene za 2.4 GHz

Dragoslav Dobričić, YU1AW

Rezime

U ovom radu su prikazana neka od mogućih rešenja problema efikasne iluminacije SAT TV ofset paraboličnih antena, pri upotrebi na WLAN frekvencijama od 2.4 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 odsecci 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 parabol.

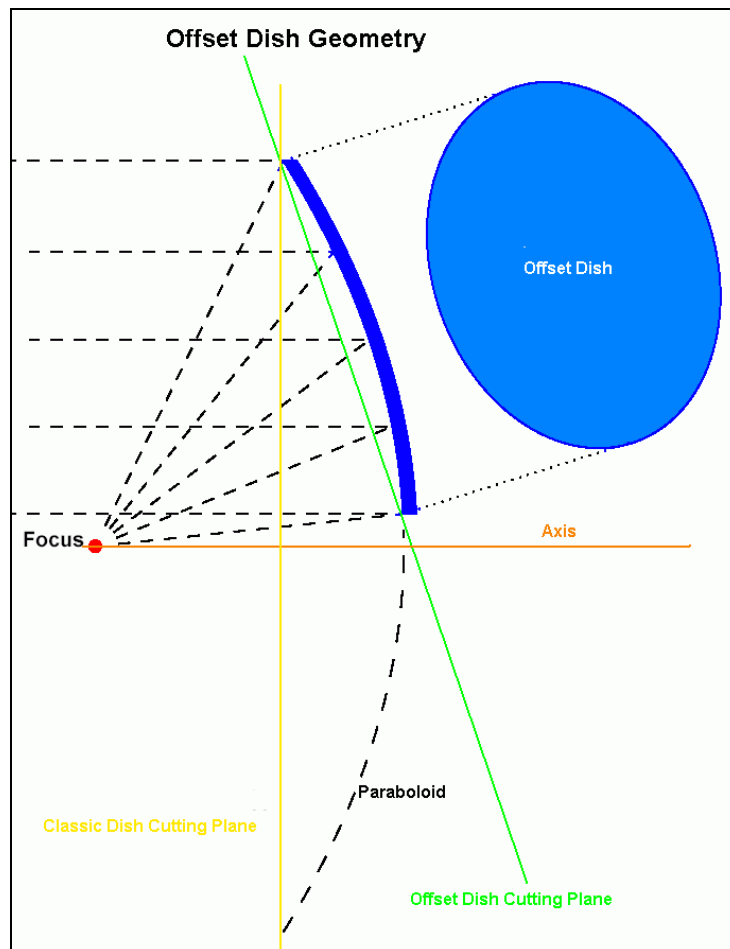
Dakle, svaki **F/D** ima svoj optimalni fid, nezavisno od svih ostalih veličina!

Prema tome, kada se određuje optimalni fid za neku parabolu 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 takođe 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 parabol.

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. Stepenn 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.

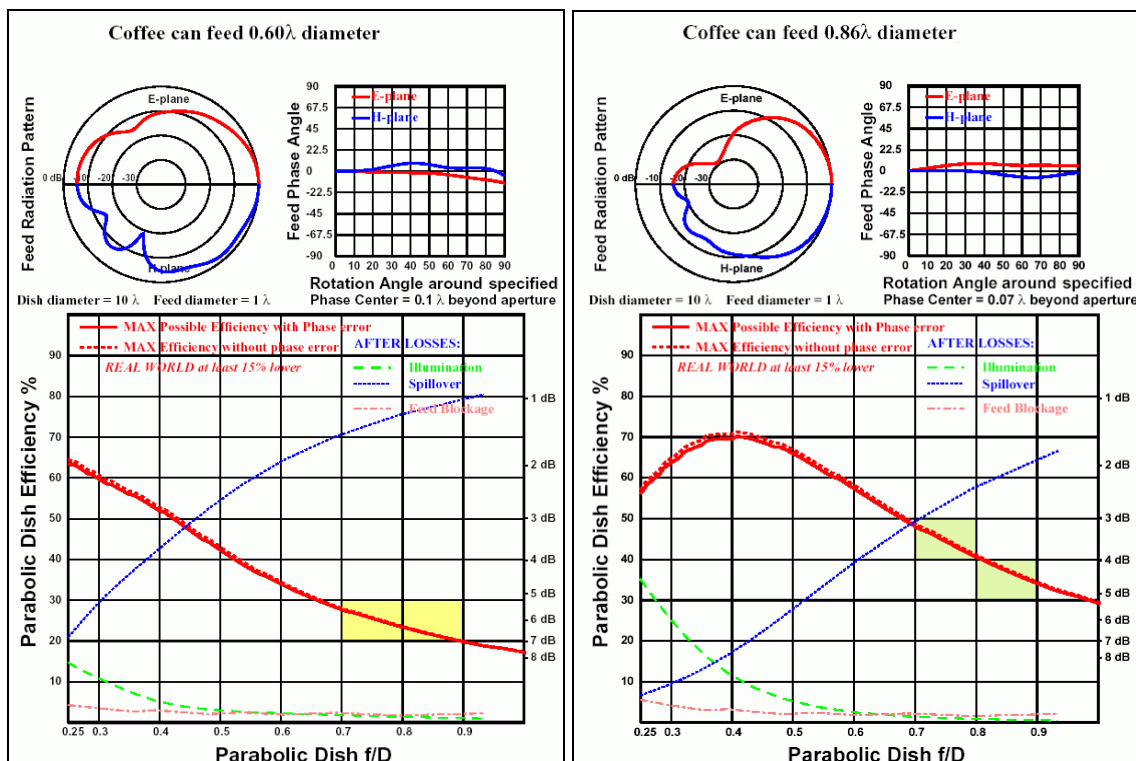
Međutim, ako se želi iskoristiti jeftina produkcija **SAT TV** ofset parabola za rad na **WLAN** frekvencijama, onda se mora pokušati sa konstrukcijom fida koji odgovara tim parabolama. **SAT TV** antene najčešće imaju **F/D** u opsegu od **0.7 – 0.9**. Za efikasnu iluminaciju potreban je fid sa čistim 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 fidove 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.

Poseban problem predstavlja opseg od **5.8 GHz** gde gradnja bikvad antene predstavlja problem 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 posebnom članku. 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 74 i 106 mm kao fida za parabolu

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 pojedinih antena kao fidova 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).

Primeru radi, vidi se da ofset parabola sa kantenom čiji je prečnik **0.6 talasnih dužina**, tj. oko **74 mm**, ima efikasnost od oko **25%**, što za posledicu ima smanjenje dobiti antene za **6dB** u odnosu na teorijsku vrednost, a to je upravo onoliko koliko bi se dobilo **sa duplo manjom**, efikasno iluminiranom ofset parabolom!

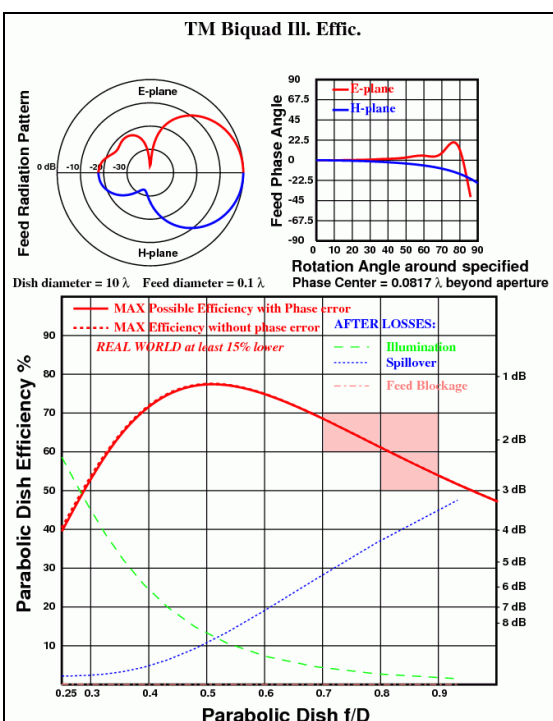
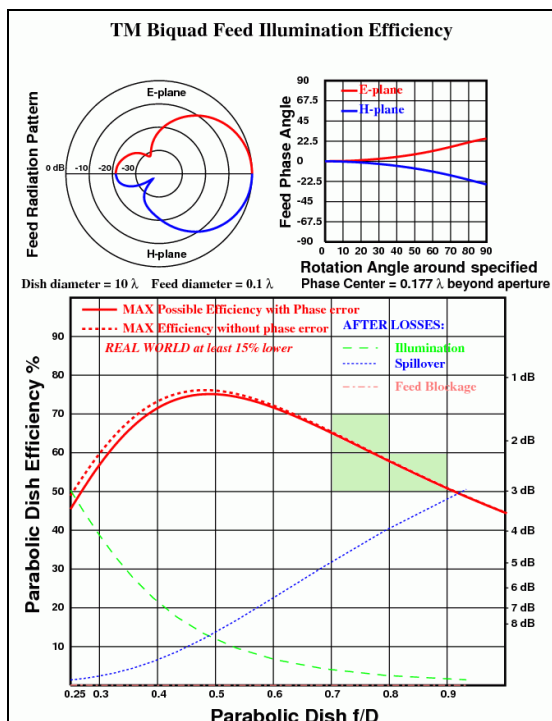
Čak ni kantena sa prečnikom od **0.86 talasnih dužina**, ili **106 mm**, ne radi sjajno. Ona daje oko **4 dB** gubitka dobiti antene u odnosu na teorijsku vrednost pri efikasnosti od **100%**. Veći prečnici kantene imaju problem sa pojavom **viših modova EM talasa** i zbog toga vrlo problematičnim dijagramom 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.

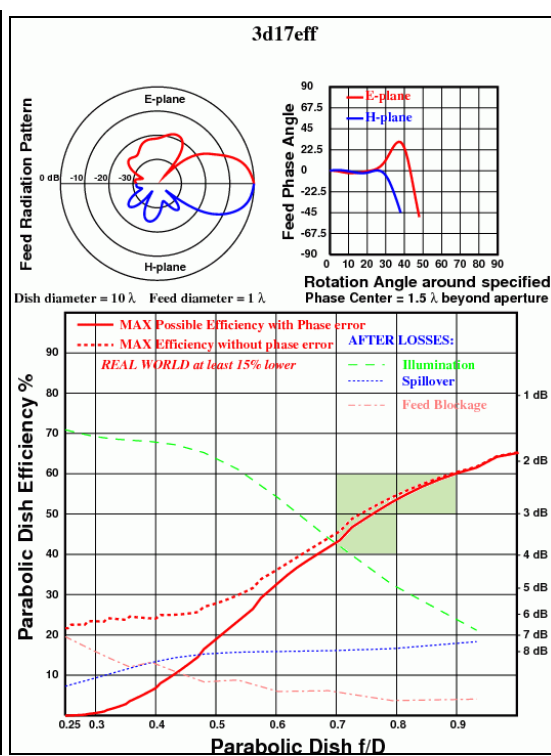
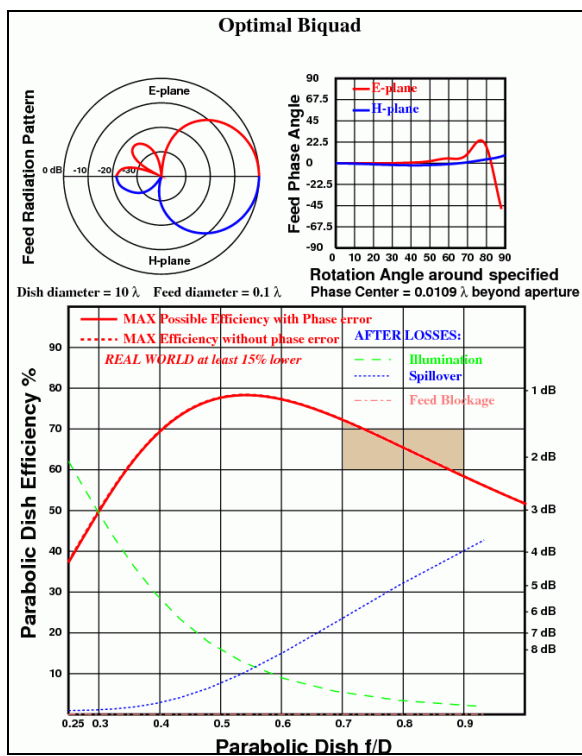
TM bikvad je nešto bolji fid za ofset parabolu od kantene **naročito ako nema 'krilca'!**

Optimalni bikvad je još malo bolji i daje oko 5% veću efikasnost od TM bikvada.

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 TM bikvad fida sa 'krilcima' i bikvada bez 'krilaca' kao fida za parabolu

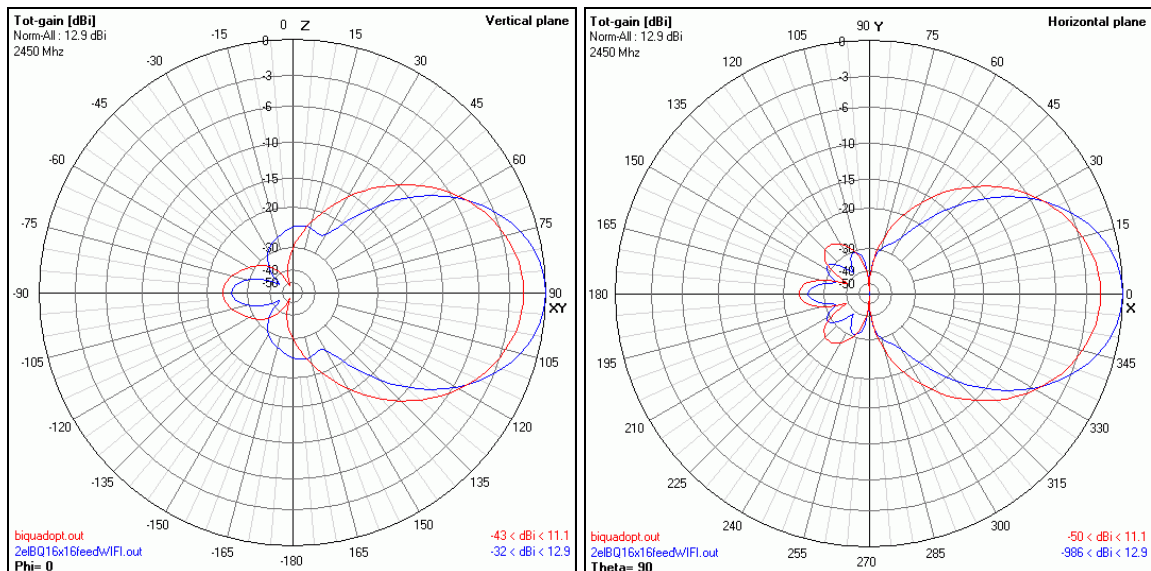


Sl. 4. Efikasnost optimalnog bikvada i 3D kornjer reflektora od 1.7 tal.duž. kao fida za parabolu

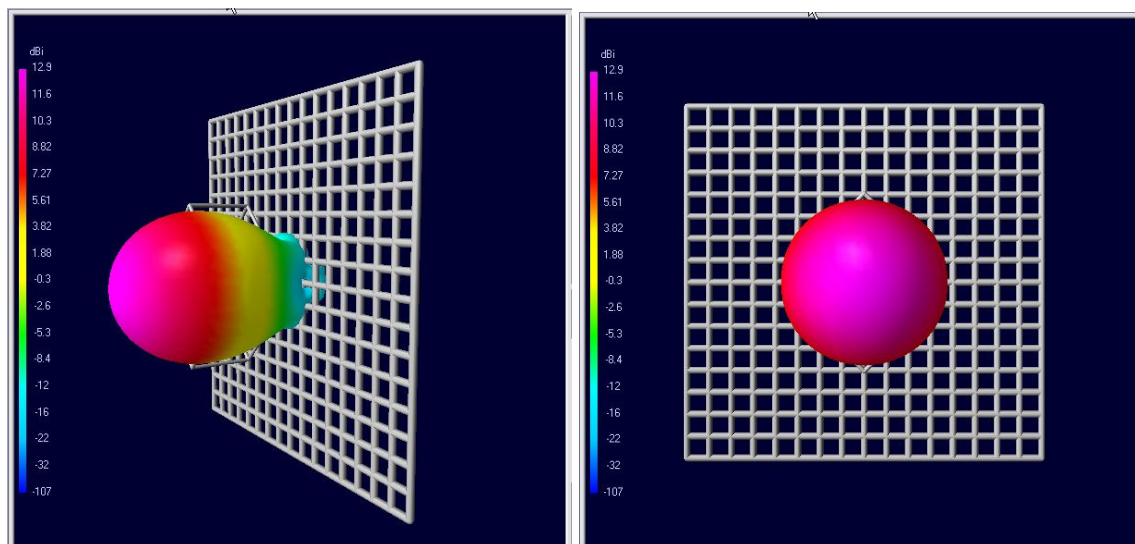
2 el. bikvad fid za 2.4 GHz

Kao što se sa gornje slike vidi **optimalni bikvad** ima vrlo visoku efikasnost kada iluminira parabole čiji **F/D** iznosi **0.5-0.6**. Očigledno je da bi se mogao prilagoditi i za ofset parabole sa većim **F/D** ako bi se suzio dijagram podjednako u obe ravni i u isto vreme održale sve druge dobre osobine. Pošto je suženje dijagrama, tj. povećanje dobiti antene moguće samo dodavanjem direktorskog elementa, to je bio put kojim sam krenuo. Međutim, dodavanje rezonantnog parazitnog elementa u vidu direktora na ovako relativno kompleksnu strukturu nije bio baš lak posao. Naime, našao sam i pogledao nekoliko objavljenih dvoelementnih bikvadova na Internetu i kratkom analizom ustanovio da ni jedan nije ni blizu nekih optimalnih performansi. Neki su čak lošije radili sa dodatim direktorom nego bez njega!

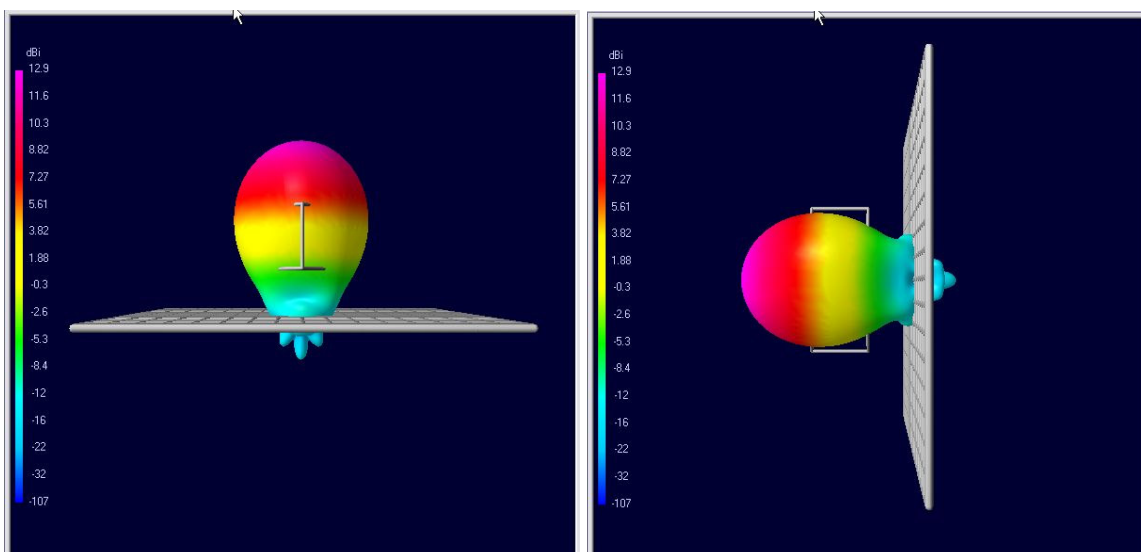
Detaljnou analizom i optimizacijom sam ustanovio da direktor mora da ima približno istu električnu dužinu kao i aktivni elemenat ako se želi održati optimalni dijagram za upotrebu sa ofset parabolom. Sa drugačijim dimenzijama direktora i međusobnih rastojanja elemenata može se postići i nešto veća dobit, ali tada dijagram nije optimalan za iluminaciju ofset parabola. Takođe, reflektor mora biti povećan u odnosu na onaj kod optimalnog bikvada i kvadratnog je oblika sa stranicom od **1.6 tal. dužine**.



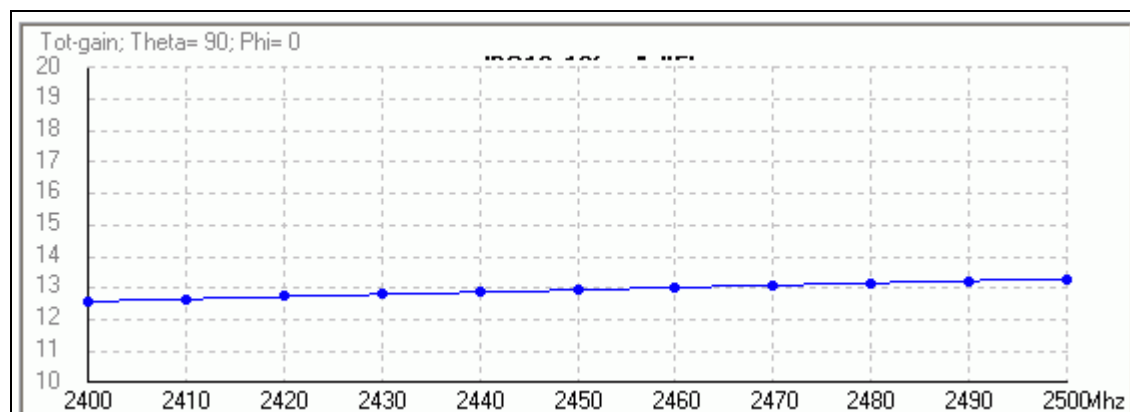
Sl. 5. Uporedni dijagrami zračenja **optimalnog bikvada** i **2 el. bikvad fida**



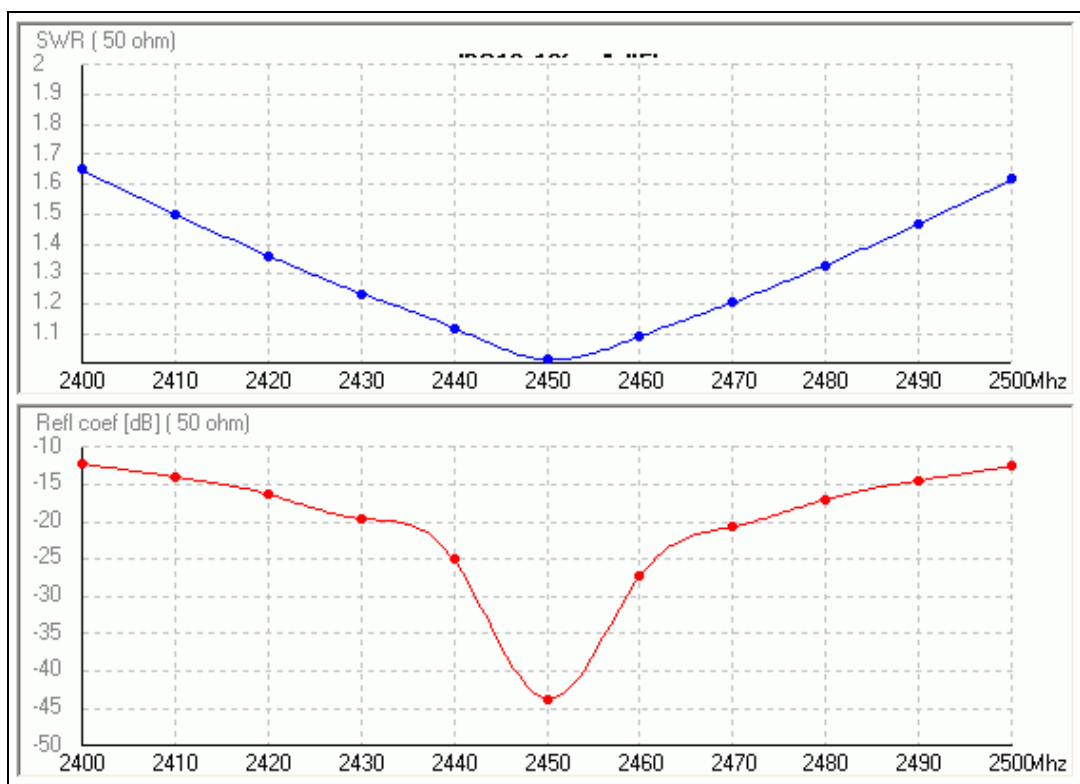
Sl. 6. Prostorni dijagram zračenja i presek glavnog snopa 2 el. bikvad fida



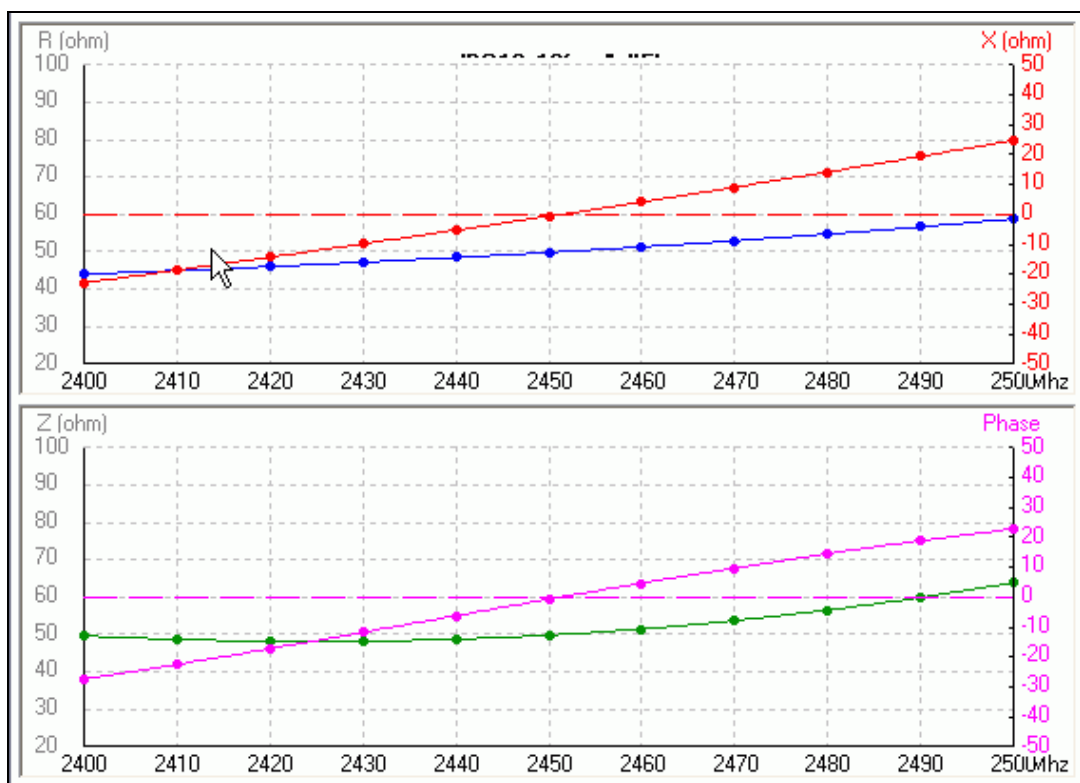
Sl. 7. Horizontalni i vertikalni dijagrami zračenja 2 el. bikvad fida



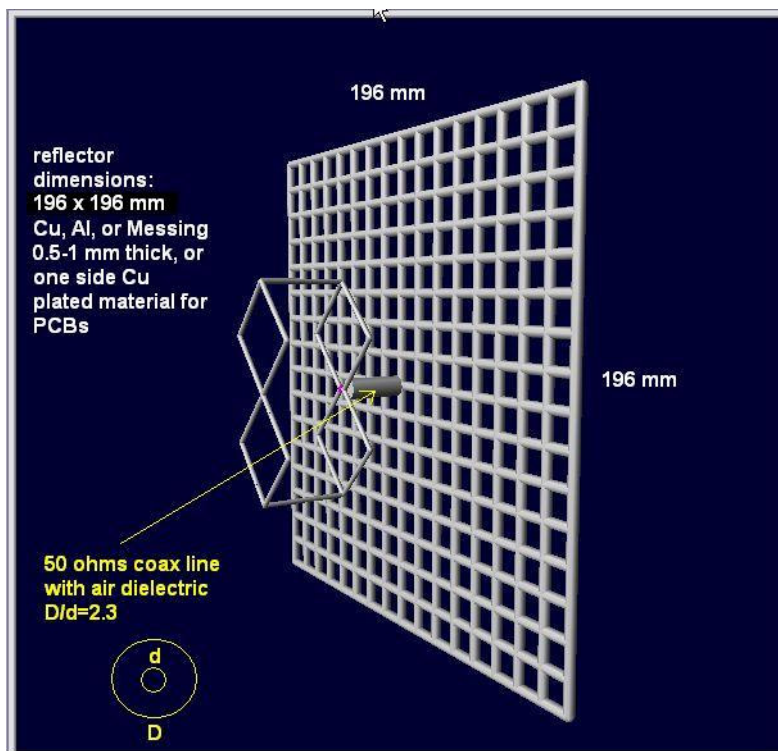
Sl. 8. Dobit (pojaćanje) 2 el. bikvad fida u zavisnosti od frekvencije



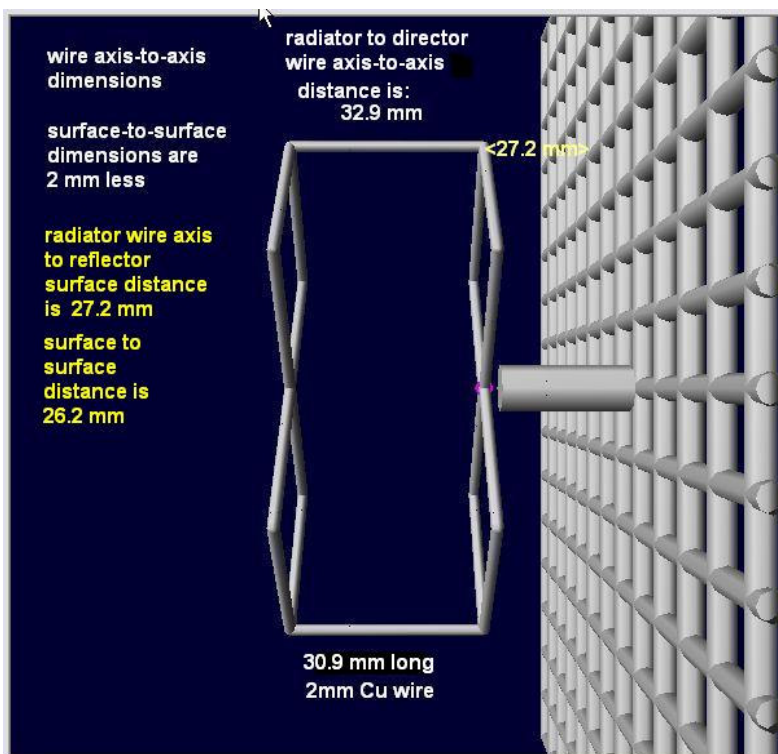
Sl. 9. Ulazno prilagođenje 2 el. bikvad fida u zavisnosti od frekvencije



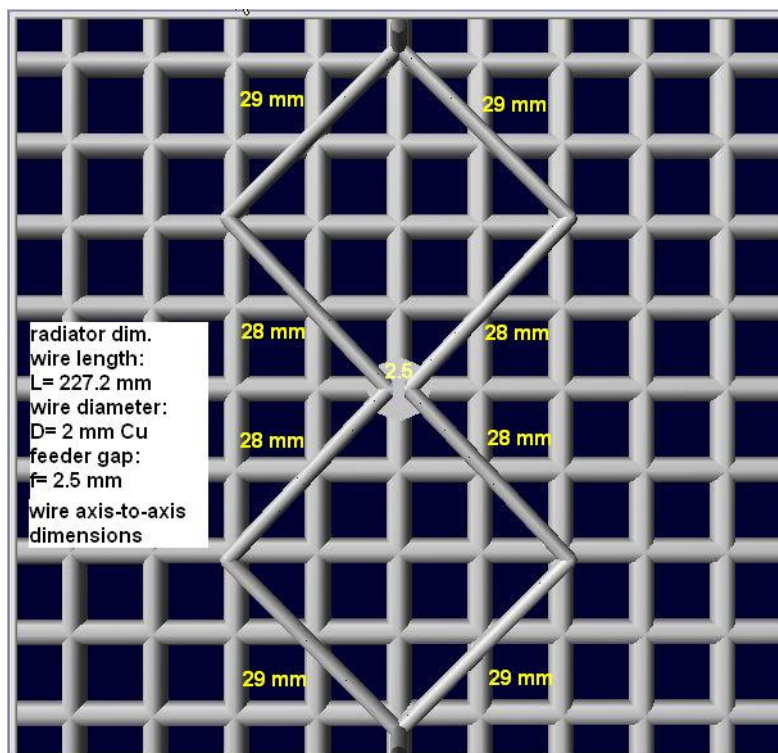
Sl. 10. Promena ulazne impedanse 2 el. bikvad fida u zavisnosti od frekvencije



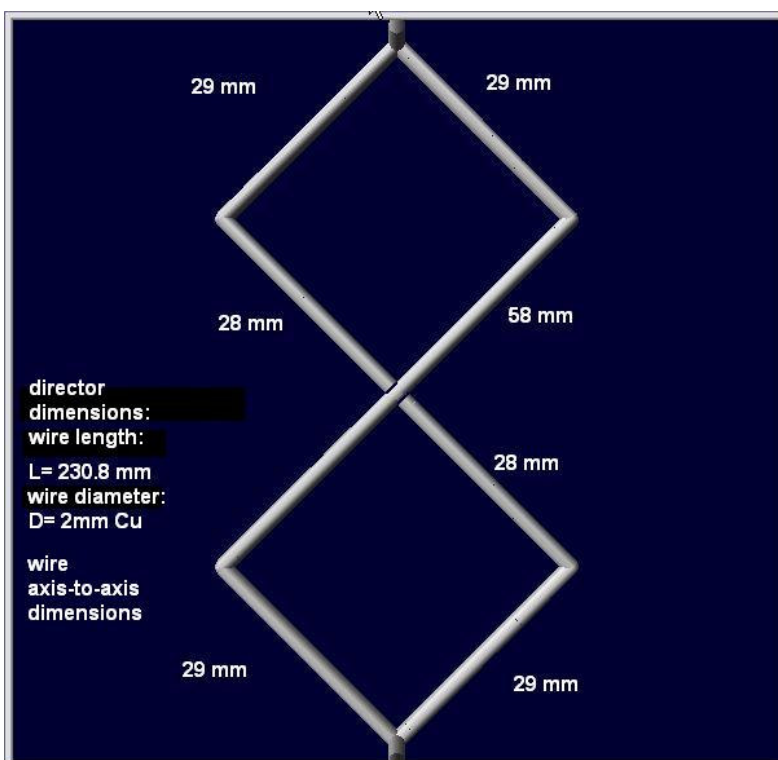
Sl. 11. Izgled 2 el. bikvad fida sa dimenzijama reflektora



Sl. 12. Rastojanje elemenata 2 el. bikvad fida



Sl. 13. Dimenzije radiatora 2 el. bikvad fida



Sl. 14. Dimenzije direktora 2 el. bikvad fida

Mehanička konstrukcija antene

Radijator i direktor su napravljeni od dva komada bakarne žice debljine **2 - 2.3 mm** i ukupne dužine **227.2 mm za radijator** i **230.8 mm za direktor**. Svaki komad žice je savijen na malo drugačiji način, kao što je prikazano na slikama.

Radijator je savijen kao kod običnog bikvada, tj. tako da krajevi žice dolaze u centar elementa i **spajaju se lemljenjem** pod uglom od 90 stepeni. U **istoj tački** se spaja i jedan provodnik koaksijalnog kabla za napajanje, dok se **drugi kraj** napajanja spaja u tački na suprotnoj strani koja je najbliža.

Direktor se savija kao što se obično rukom piše brojka 8, tj. tako da krajevi žice dolaze u centar iz istog pravca ali različitog smera, odnosno pod uglom od 180 stepeni i **oba se zaleme za srednju žicu**.

Pre savijanja treba **vrlo precizno odmeriti i odseći** potrebnu dužinu žice, a potom izmeriti i obeležiti flomasterom mesta na kojima će žica biti savijena pod pravim uglom.

Reflektorska površina može biti od bakarnog ili mesinganog lima **0.5-1.5 mm** debljine. Može se koristiti i jednostruko kaširani pertinaks ili vitroplast.

Dva nosača direktorskog elementa dužine **30.9 mm** takođe su od bakarne žice prečnika **2 mm**. Oni se leme direktno na elemente, kao što je prikazano na slici. Ovo rešenje je pojednostavilo izradu i obezbedilo dobru mehaničku stabilnost cele antene.

Važno je imati u vidu da su na slikama dimenzije date od ose do ose žica!

Dimenzije od površine do površine žice su za 2 mm manje!

Rastojanje radijatora od reflektora dato je od ose žice do površine reflektora!

Od površine žice do površine reflektora je za 1 mm manje, tj. 26.2 mm!

Isto tako su i žice koje spajaju radijator i direktor date kao osno rastojanje ova dva elementa. Da bi se ovo rastojanje postiglo žice koje ih spajaju treba da se odseku za 2 mm kraće, tj. na 30.9 mm!

Napajanje

Ovaj 2 el. bikvad fid se priključuje na napajanje, tj. koaksijalni vod na isti način kao i sve druge varijante bikvada.

Koaksijalni vod koji se spaja na radijator se može mehanički izvesti na nekoliko načina:

1. Može se radijator montirati na koaksijalni vod napravljen od žice i bakarne ili mesingane cevčice, čiji **unutrašnji** prečnik cevčice (**D**) i **spoljašnji** prečnik žice (**d**) stoje u odnosu **$D/d=2.3$** , jer je karakteristična impedansa **vazdušnog** koaksijalnog voda data formulom: **$Z_c=138*\log(D/d)$** . Recimo, može se upotrebiti standardna bakarna žica prečnika **2.3 mm** i bakarna cevčica **unutrašnjeg** prečnika **5mm**.

Probuši se rupa od **5.5 mm** na reflektoru i sa prednje strane reflektora cevčica se dobro zalemi za reflektor po celom obimu. Sa zadnje strane, **direktno na reflektorsku površinu**, zalemi se ili zašrafi konektor sa prethodno zalemljenom žicom koja je centralni provodnik koaksijalnog kabla i koja se spaja na radijator.

2. Može se, takođe, umesto vazdušnog koaksijalnog voda zalemiti samo cevčica kroz koju tesno ulazi koaksijalni kabl impedanse 50 oma oslobođen spoljašnjeg plastičnog omotača tako da spoljašnji provodnik (oplet) dobro naleže na unutrašnji zid cevčice. Potom se na oba kraja cevčice oplet dobro zalemi za cevčicu.

3. Ako se koristi deblji koaksijalni kabl impedanse 50 oma koji je dovoljno krut, može se koristiti samo kraj kabla oslobođen spoljašnjeg plastičnog omotača u dužini od oko 30 - 35 mm koji se provuče kroz reflektor i na mestu prolaska dobro zalemi za reflektorsku površinu.

Radijator se napaja na mestu gde su žice na najmanjem međusobnom rastojanju. Jedna strana se zalemi na unutrašnji a druga na spoljašnji provodnik koaksijalnog voda, na isti način kao što je to uobičajeno kod svake bikvad antene.

Na priloženim, kompjuterski generisanim, slikama izgleda kao da radijator nije spojen za koaksijalni kabl, ali to je samo zbog specifičnih zahteva programa za simulaciju i načina kako on tretira napajanje.

Zaštita od atmosferskih uticaja

Ovu zaštitu najbolje je izvesti tako što se antena još dok je bakar svetao i bez korozije prefarba auto-lak sprejom u tankom sloju. Prethodno se samo mesto lemljenja kablova i otvoreni poprečni preseći kablova u tankom sloju prevuku 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!

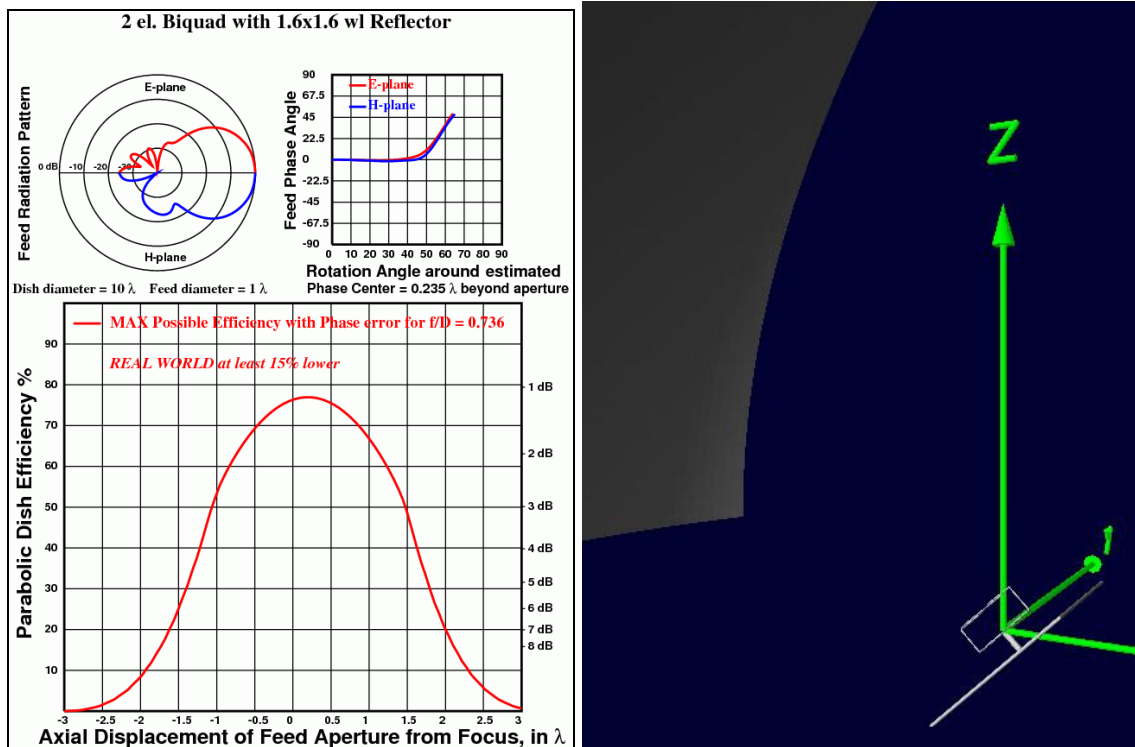
Postavljanje fida u fokus ofset parabole

Kod optimalnog bikvada fazni centar se nalazi u ravni reflektora. Kod dvoelementnog bikvada, zbog dodatog direktora, fazni centar se pomera ka radijatoru.

Analiza faznog centra dvoelementnog bikvada je pokazala da se on nalazi **0.235 talasnih dužina ili 29 mm ispred reflektora**. To praktično znači da je, približno, tačka napajanja radijatora fazni centar dvoelementnog bikvada. Ta tačka mora što preciznije da se dovede u fokus parabole! Pravac maksimalnog zračenja glavnog snopa mora da bude usmeren u geometrijski centar eliptične površine ofset 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. Merenjem 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 parabolichnu površinu.

Veoma je važno napomenuti da nosač fida mora biti modifikovan tako da bez ikakvih oštećenja, prepravki, zasecanja reflektorske površine i drugih 'sakaćenja' fida omogućí postavljanje fida tako da napojna tačka radijatora legne u fokus a smer glavnog snopa zračenja u centar eliptične površine ofset parabole! Takođe je važno da se u tzv. fokusnom konusu između tačke fokusa i površine parabole ne nalaze nikakvi delovi noseće strukture ili bilo čega drugog, osim fida, što može svojim uticajem da naruši pravilnu iluminaciju parabolichne površine!



Sl. 15. Određivanje položaja faznog centra 2 el. bikvad fida i njegovo mesto u fokusu

Dobijeni rezultati sa ofset parabolom

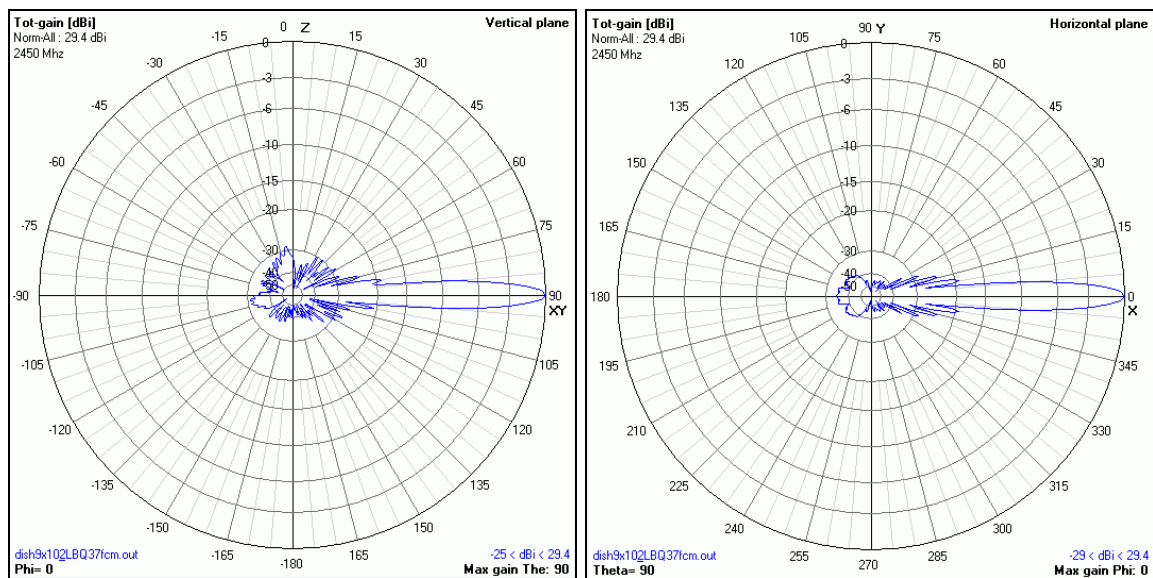
Analizom dvoelementnog bikvada kao fida pravougaone ofset parabole dimenzija **100x120 cm** i $F/D=0.75$ dobijeni su vrlo dobri rezultati. Potvrđena je vrlo visoka efikasnost na osnovu postignute dobiti parabolične antene u odnosu na teorijsku. Preračunavanje efikasnosti iluminacije parabole iz njene dobiti dalo je vrednost oko **77%** što se vrlo 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 nešto manje geometrijske površine eliptične parabole.

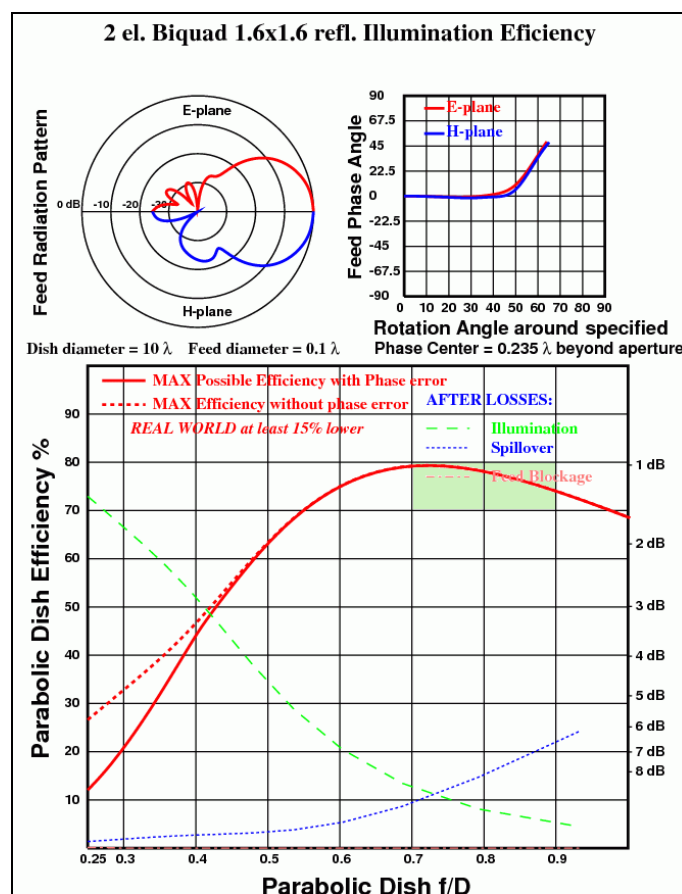
Još jedna potvrda da se radi o vrlo dobrom fidu je čistoća dobijenog dijagrama zračenja parabole. Prvi par sporednih snopova zračenja je potisnut oko **20 dB**, a odnos napred/nazad je preko **30 dB**.

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

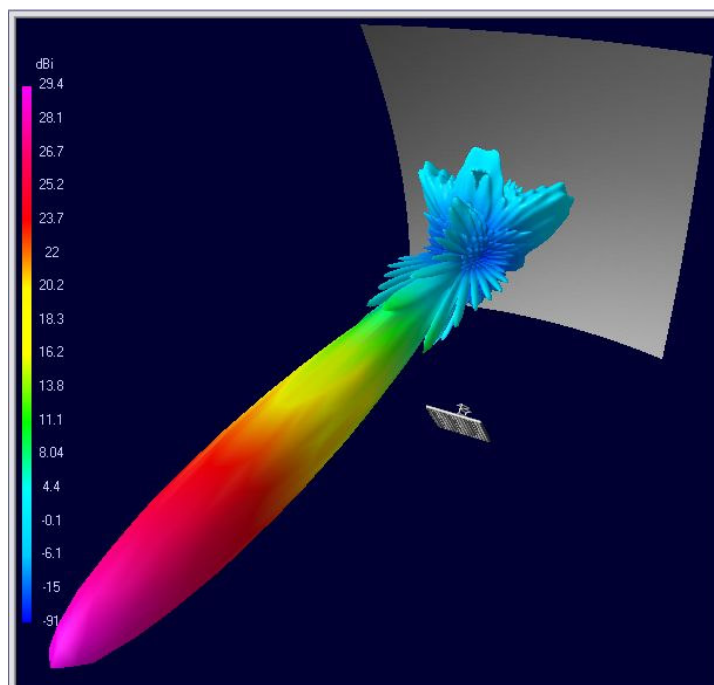
Ulazna impedansa bikvada je ostala praktično nepromenjena kada je stavljen u fokus parabole, što se i očekivalo od ove antene poznate po svom niskom **Q** faktoru.



Sl. 16. Vertikalni i horizontalni dijagrami zračenja ofset parabole sa 2 el. bikvad fidom



Sl. 17. Efikasnost 2 el. bikvad fida za parabole u zavisnosti od njihovog F/D



Sl. 18. Prostorni dijagram zračenja ofset parabole sa 2 el. bikvad fidom

Zaključak

U ovom radu je pokazana i preciznim računarskim simulacijama potvrđena mogućnost korišćenja dvoelementnog bikvada za efikasnu iluminaciju **SAT TV** ofset paraboličnog ogledala. Veoma čist i simetričan dijagram dvoelementnog bikvada sa podjednakom širinom glavnog snopa u obe ravni pokazao se kao veoma efikasan fid za ofset parabolične antene čiji je **F/D** između **0.7** i **0.9**.

Literatura

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

1. Optimalna BiQuad antenna za 2.4 GHz WiFi
2. Parabolične antene za SHF opsege
3. Skraćena 3D kornet reflektor antenna za 2.4 GHz
4. Modifikovana 3D kornet reflektor antenna 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.