Piše: Mladen Petrović, 9A4ZZ

# GP antena EVA-DX 80

## *Ground plane antenna EVA-DX 80*

Uobičajeno je da se vertikalne antene visine reda λ/4 i više, za donje opsege 40 m, 80 m i 160 m postavljaju neposredno iznad tla. Montiraju se na antenski izolator, a kao antenski protuteg se postavljaju radijali po tlu ili ukopavaju u tlo. Napravljena su mnoga mjerenja i analize, optimalizacija broja i dužine ukopanih radijala (prije svega zbog postavljanja AM radio-difuznih antena još tridesetih godina u Americi). Ti su podaci kasnije korišteni i kod konstrukcije radioamaterskih vertikalnih antena za opsege 160 m i 80 m.

GP antena je već dugo vremena poznata kao konstrukcija antene, ali se uglavnom primjenjivala samo za VHF i više HF opsege iz praktičkih i mehaničkih razloga. Iz razloga što se cijela antena s radijalima mora znatno podići od tla ovakvo rješenje se nije koristilo za niže opsege 80 m, 160 m, a i polazilo se od toga da je vertikalna antena sa 120 ukopanih radijala efikasnija od GP antene za niže opsege.

No, mjerenjima i izračunima s novim računalnim programima ustanovljeno je da pod određenim uvjetima antena s podignutim radijalima, *ground plane antenna*, ima istu ili veću efikasnost od klasičnih rješenja s ukopanim radijalima. Stoga su *ground plane* antene za AM radio-difuziju izjednačene u tretmanu s vertikalnim antenama s ukopanim radijalima prema propisima FCC- a. Tako su mnoge AM radio-difuzne antene u Americi rekostruirane u GP antene s podignutim radijalima. Također, otvaraju se i nove mogućnosti konstrukcije vertikalnih KV antena za niže opsege.[Lit [1]]

Odgovor na pitanje je li bolje ukopati radijale za vertikalnu antenu ili ih podići od tla nije jednoznačan, već složen i ovisi o više faktora: broja i duljine radijala, visine od tla i električnih karakteristika tla. Znajući ove podatke možemo izračunati i napraviti vertikalnu antenu s optimalnim antenskim protutegom za određenu lokaciju. Analizirao sam karakteristike GP vertikalne antene na visini λ/4 iznad tla u odnosu na vertikalnu antenu na tlu s ukopanim radijalima. [Lit [4]] U prvom su redu analizirani dobitak i kut zračenja kao parametri od najveće važnosti za DX rad. Pokazalo se da je kod tla dobre vodljivosti prednost na strani podignute antene od tla – veći dobitak i niži kut maksimuma zračenja, ispod 20°, što joj daje odlike izvrsne antene za DX rad na 80 m opsegu gdje je optimalni elevacijski kut od 15° do 20°.

Ovu sam antenu nazvao skraćeno EVA-DX 80 (*Elevated Vertical Antenna*) podignuta vertikalna antena, kako bi se razlikovala od drugih GP antena, a visina montaže od tla i kut radijala je ono što je razlikuje od drugih GP antena.
Ova antena ima podignute, vodoravne *ground plane* radijale. Već s malim nagibom prema tlu od 10° postiže se ulazna impedancija pogodna za prilagođenje ili direktno napajanje 50 omskim koaksijalnim kabelom. To je stoga što su antena i radijali podignuti od tla 0,05 λ…0,1 λ. Budući da se radi o valnoj duljini 80 m, visina vertikalne antene je λ/4 ≅ 20m, a podignuta je od zemlje 4 m do 8 m (što je još uvijek prihvatljivo za izvedbu većini radioamatera). Kako nemam odgovarajuće uvjete za postavljanje takve antene, dogovorio sam s Franjom, 9A6M, da prema mojim izračunima i uputama napravi i montira EVA-DX80 antenu.

### PRINCIP RADA EVA-DX80 ANTENE

Vertikalna antena postavljena iznad tla zahtjeva antenski protuteg kako bi se preko njega zatvorio tok antenske struje koju čine: struje dielektričnog pomaka, struje koje prolaze kroz prututeg i struje koje prolaze kroz tlo (slika 1.). Od odnosa ovih struja ovisi efikasnost vertikalne antene. Antenski protuteg se sastoji od radijala podignutih (*elevated*) iznad tla.

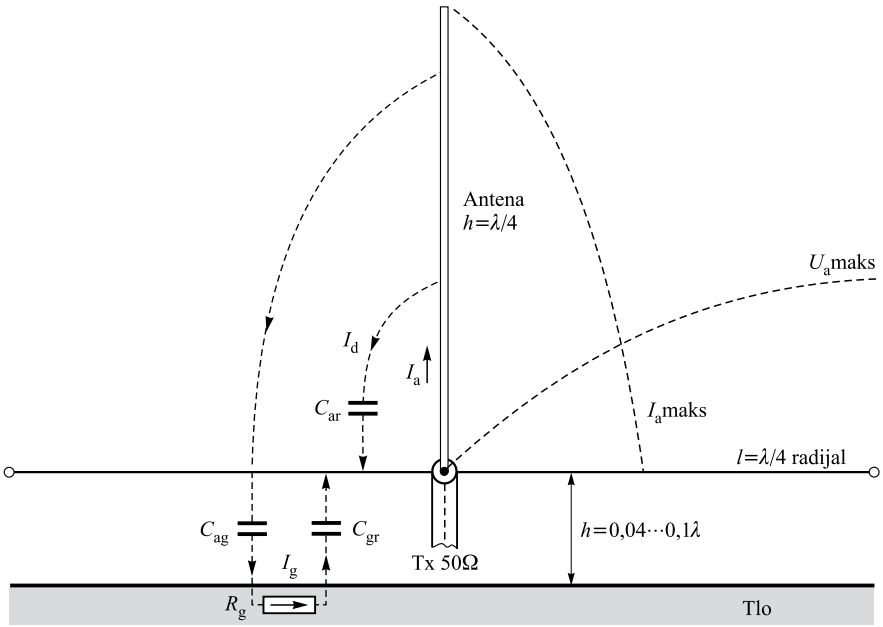
Ovdje ću razmatrati vertikalnu antenu koja je podignuta od tla s radijalima podignutim od tla koji su rezonantni, a koje sam izabrao zbog veće efikasnosti i ostalih prednosti.[Lit [2] Lit [3]]

Efikasnost $\eta$ vertikalne antene ovisi o sustavu radijala, kao i vrsti tla ispod antene.

$$\eta = \frac{Rr}{Rr + Rg} = \frac{R_r}{R_i} \times 100\%$$

gdje je:
$R_r$ = *36* Ω, otpor zračenja λ/4 rezonantne vertikalne antene,
$R_g$ = otpor gubitaka tla, on je manji što je vodljivost tla veća,
$R_i$ = ukupni ulazni otpor λ/4 rezonantne vertikalne antene.

Budući da su radijali podignuti od tla, mali su i gubici $R_g$. Gubici antenskog i radijalnih vodiča su također zanemarivi pa možemo reći da je efikasnost ovakve antene veća




**Slika 1.** *Princip rada vertikalne antene podignute od tla*

od 90%. Time je osigurano da se privedena snaga efikasno izrači iz antene i formira blisko polje, a zatim i izrači kao daleko polje pod niskim kutom maksimuma zračenja.

Na slici 1. vidimo da antenska struja $I_a$ teče kroz vertikalni dio antene i zatim strujom dielektričnog pomaka $I_d$ preko kapaciteta $C_{ar}$ između antene i radijala vraća se prema koaksijalnom kabelu odnosno predajniku. Dio antenske struje $I_d$, preko kapaciteta $C_{ag}$ između antene i tla ulazi u tlo i kao $I_g$ prolazi kroz otpor gubitaka tla $R_g$. Zatim se preko kapaciteta $C_{gr}$ između tla i radijala vraća u koaksijalni kabel prema predajniku.

U ovom su slučaju gubici smanjeni time što je antena dignuta 0,04 λ od tla tako da je kapacitet $C_{gr}$ između tla i radijala smanjen. Time je povećan kapacitivni otpor i smanjena struja gubitaka $I_g$, a ujedno i gubici. Također, serijska veza $C_{ag}$ (kapaciteta između antene i tla) i $C_{gr}$ (kapaciteta između tla i radijala) smanjuje ukupni kapacitet. Time se povećava kapacitivni otpor pa je struja $I_g$ manja i manji su gubici.

$$X_c = \frac{1}{\omega C}\ (\Omega);\quad X_c = \text{kapacitivni otpor.}$$

Bitno je da povrat antenske struje ide što više strujama dielektričnog pomaka, a što manje kroz tlo. Potrebno je minimizirati tok antenske struje prema zemlji, odnosno anteni pa radijali i koaksijalni kabel moraju biti za VF izolirani od zemlje.

Efikasnost antene preko *gain* ($G_a$) antene.

$$\eta = G_a = \frac{P_r}{P_i} \text{ gdje je}$$

$G_a$ = dio ulazne snage koji je izračen kao prostorni val,
$P_r$ = izračena snaga,
$P_i$ = ulazna snaga u antenu,

$$G_a = 10 \log \frac{P_r}{P_i}\ (dB_i).$$

Kod proračuna uzima se da je $G_a$ iznad idealno vodljivog tla bez gubitaka; $G_a = 1$, odnosno 0 $dB_i$.
Dobitak $G_a$ se računa u $dB_i$ (u odnosu na izotropni radijator) jer je dobit ovakve antene mala u odnosu na dipol, gdje je 2,15 $dB_i$ = 0 $dBd$.

Antena je od tla podignuta na visinu λ/4 pa se maksimum struje nalazi u podnožju antene i podignut je od tla. Time su struje koje teku kroz tlo smanjene i smanjeni su gubici. Treba ponoviti da gubici u tlu kod vertikalne antene predstavljaju glavne gubitke, a ostali se gubici mogu zanemariti ako je antena ispravno prilagođena.
Vidi se da je antena rezonantna što se postiže određenom duljinom vertikalnog dijela antene ≈ λ/4, kao i rezonantnih radijala koji u ovom slučaju dovode antenu u rezonanciju. Radijali također imaju utjecaja na dijagram zračenja i stoga moraju biti iste duljine kako ne bi došlo do značajnog odstupanja od kružnog dijagrama zračenja.

Na slici 1. se vidi da je na krajevima radijala napon maksimalan pa radijale treba završiti izolatorima. Da bismo spriječili povrat antenskih struja po koaksijalnom kabelu, na mjestu priključka koaksijalnog kabela s antenom, odnosno antenskim prilagođenjem, montira se strujni *balun* 1:1. Također, ako sa spuštanjem radijala prema tlu i promjenom visine antene nije moguće postići impedanciju od 50 oma s prihvatljivim SWR-om, potrebno je napraviti prilagođenje antene. Treba napomenuti da se s povećanjem kuta radijala prema horizontu povećava elevacijski kut i smanjuje dobitak antene i tu treba naći optimum.

Vrlo je važna vodljivost i dielektrična konstantna tla ispod antene pošto se dijagram stvara kombiniranjem direktnog i reflektiranog vala od tla. Što je veća vodljivost i dielektrična konstanta tla, dobitak antene je veći i kut maksimuma zračenja je manji, što su dobre karakteristike antene za DX rad. I obrnuto, kod manje vodljivog tla i manje dielektrične konstante tla, manji je dobitak antene i kut maksimuma zračenja je veći.
Također, s podizanjem antene i radijala, raste dobitak antene i smanjuje se kut maksimalnog zračenja. U našem slučaju vodljivost i dielektrična konstanta tla, (tablica 1.) u promjeru λ/2 je vrlo bitna za formiranje dijagrama zračenja. Stoga je bitno izabrati teren dobre vodljivosti za montiranje vertikalne antene. Karakteristike antene na tlu manje vodljivosti i dielektrične konstante mogu se poboljšati i radijalima ukopanima u tlo oko antene, ali oni ne smiju biti spojeni s podignutim radijalima (ipak, ovo se radi samo u izuzetnim slučajevima).

## IZRAČUN EVA-DX80 ANTENE

Za izračun ove antene, osim ostalog, treba znati vodljivost tla i dielektričnu konstantu na mikro-lokaciji. Ona se određuje procjenom ili mjerenjima. Ovo su bitni elementi koji određuju efikasnost, dijagram zračenja i ulaznu impedanciju.

Prema grubim kartama vodljivosti tla (ITU), za konkretni slučaj – ona na širem prostoru lokacije antene iznosi 10 mS/m, što je na mikro-lokaciji sigurno i više jer se radi o plodnom tlu, odnosno oranici.
Prema ovim podacima uzeo sam za izračun vrijednosti za vodljivost 15 mS/m i dielektričnu konstantu $\varepsilon_r = 15$.

Budući da se radi o DX anteni najbolje karakteristike mora imati na 3 510 kHz (CW dio) i na 3 790 kHz (SSB dio).
Treba izračunati takvu duljinu vertikalnog dijela antene i radijala da ulazna impedancija antene na 3 510 kHz bude Z = R ± jX = R ± j0 Ω, tj. rezonantna na CW dijelu *banda*, a na 3 790 kHz će biti električki duža.

Ovdje neću razrađivati određivanje elemenata antene da bi se dobila ulazna impedancija 50 Ω, već izračunati elemente antene da maksimum zračenja bude pod što nižim kutom, a ulaznu impedanciju antene ću prilagoditi na radnim frekvencijama.

Visina montiranja je određena mehaničkim mogućnostima pa je točka napajanja antene 3,3 m iznad tla te je za izračun uzeta ta vrijednost.

Srednja vrijednost promjera vertikalnog dijela antene je $\Phi$ = 40 mm. Radijali su promjera $\Phi$ = 2 mm. Broj radijala može biti od 2 do 8, što određujemo s obzirom na vodljivost tla i mogućnost kružnog deformiranja dijagrama. Odabrao sam 8 radijala jer se na taj način smanjuje Q-faktor te je antena većeg *bandwitha*.[Lit [4]]

| Opis tla | Vodljivost u mS/m | Dielektrična konstanta $\varepsilon_r$ |
|---|---|---|
| gradovi, industrijske zone | 1 | 5 |
| suho tlo, pijesak, morsko priobalje | 1 | 10 |
| slatka voda | 1 | 80 |
| stjenovite planine, do 1000 m | 2 | 5 |
| pješčane ravnice, suho tlo | 2 | 10 |
| šumovita brda | 4 | 13 |
| srednja brda, šumarci | 5 | 13 |
| brežuljci, plodna tla | 7 | 17 |
| močvarna tla, pošumljena ravnica | 8 | 12 |
| oranice, masna tla | 10 | 15 |
| bogata, plodna zemlja | 30 | 20 |
| morska voda | 5 000 | 81 |

**Tablica 1.** *Vodljivost i dielektrična konstanta uobičajenih tipova tla*

Temeljem tih podataka napravljen je izračun antene. Izračunata visina vertikalnog dijela antene je 21,1 m. Izračunata duljina radijala je 20 m. Kut radijala u odnosu na horizont je - 7°. Na kraju radijala visina od tla je 2,3 m.

Na slici 2. je prikazan izračunati dijagram zračenja za frekvenciju 3 510 kHz. Vidi se da je maksimalna dobit antene pod elevacijski kutom 19,5°. Ulazna impedancija antene je Z ≅ 39 ± j0 Ω. SWR = 1:1,3

Na slici 3. je prikazan dijagram zračenja za frekvenciju 3 790 kHz. Maksimalna dobit antene je pod elevacijskim kutom 19,2°. Ulazna impedancija antene je Z ≅ 49 + j54 Ω. SWR = 1: 2,8

U tablici 2. su prikazani rezultati izračuna ulazne impedancije i SWR podignute antene od tla u rasponu frekvencija od 3 500 kHz do 3 800 kHz.

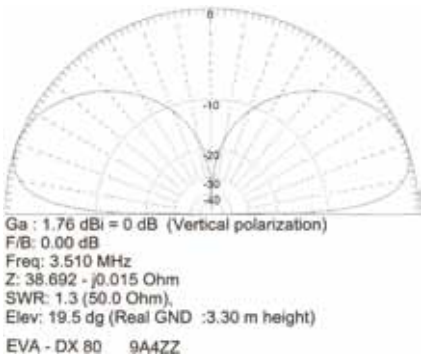
| Frekvencija f (kHz) | Impedancija Z (Ω) | SWR |
|---|---|---|
| 3 500 | 38 - j2 | 1,3 |
| 3 510 | 39 ± j0 | 1,3 |
| 3 525 | 39 + j3 | 1,3 |
| 3 550 | 40 + j8 | 1,3 |
| 3 575 | 41 + j12 | 1,4 |
| 3 600 | 42 + j17 | 1,5 |
| 3 625 | 43 + j22 | 1,6 |
| 3 650 | 44 + j27 | 1,8 |
| 3 675 | 45 + j31 | 1,9 |
| 3 700 | 46 + j36 | 2,1 |
| 3 725 | 47 + j41 | 2,3 |
| 3 750 | 48 + j46 | 2,5 |
| 3 775 | 49 + j51 | 2,7 |
| 3 790 | 49 + j53 | 2,8 |
| 3 800 | 50 + j56 | 2,9 |

**Tablica 2.**

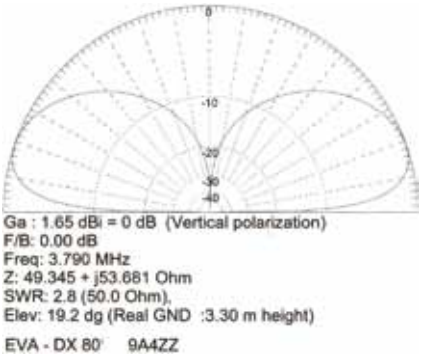
Nakon montaže antene izvršena su mjerenja ulazne impedancije i SWR-a. Realizacija antene potvrdila je izračune antene podignute od tla.

Kad se usporede rezultati mjerenja na radnim frekvencijama za koje ćemo raditi prilagođenje, s rezultatima izračuna, razlika je mala i prihvatljiva.

Izmjereno na anteni na frekvenciji 3 510 kHz: ulazna impedancija je Z = 40 - j4 Ω, SWR = 1:1,3.
Izmjereno na anteni na frekvenciji 3 790 kHz: ulazna impedancija je Z= 48 + j44 Ω, SWR = 1:2,4.




**Slika 2.** *Vertikalni dijagram zračenja i izračunati podaci na 3 510 kHz*




**Slika 3.** *Vertikalni dijagram zračenja i izračunati podaci na 3 790 kHz*

## IZRAČUN PRILAGOĐENJA

Prema izmjerenim rezultatima ulazne impedancije antene izračunati su elementi prilagođenja na 50 Ω.

Izmjerena ulazna impedancija antene na frekvenciji 3 510 kHz je Z = 40 - j4 Ω.

Antena bi mogla raditi bez dodatnog prilagođenja na 3 510 kHz jer je SWR = 1:1,3 no zbog veće efikasnosti prilagodit ću je na 50 Ω.

Također, izračunat ću elemente prilagođenja za frekvenciju 3 790 kHz, gdje je ulazna impedancija Z = 48 + j44 Ω.
Dovoljno je kompenzirati induktanciju antene kapacitivnim otporom – kondenzatorom od 955 pF.

Izabrat ću varijante *low pass* prilagođenja (za oba slučaja L mrežu), da se oslabi prolaz viših frekvencija od radne i time smanje moguće smetnje.

Prilagodne elemente ću izračunati grafičkom metodom.[Lit [5]]

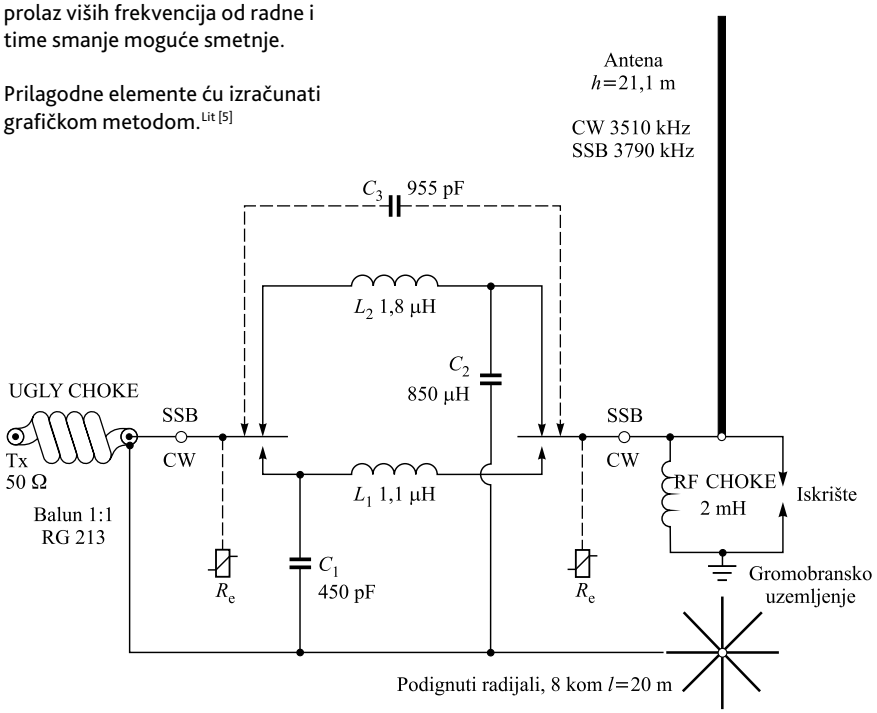
Na slici 4. su prikazane *low pass* sheme s vrijednostima prilagodnih elemenata i shema preklapanja rada na CW i SSB dijelu opsega.

Prikazana je inačica za SSB prilagođenje s kondenzatorom od 955 pF u seriji.

Naponi na elementima ne prelaze 500 V kod snage 1 500 W.

U fazi ugađanja poželjno je koristiti promjenljive kondenzatore i zavojnice koje po završetku ugađanja treba zamijeniti fiksnim vrijednostima.
Zavojnice namotati od Cu cijevi $\Phi$ = 6 mm, na tijelu promjera d = 70 mm.

Zavojnica za prilagođenje za 3 510 kHz ima 4 zavoja ≅ 1 µH, a za frekvenciju 3 790 kHz, 6 zavoja ≅ 1,8 µH.




**Slika 4.** *Shema antenskog prilagođenja za EVA-DX80*

## KONSTRUKCIJA EVA-DX80 ANTENE

Antena je napravljena od četiri komada Al cijevi dimenzija l = 11 m, $\Phi$ = 50 mm; l = 4 m, $\Phi$ = 40 mm; l = 3 m, $\Phi$ = 30 mm; l = 3 m, $\Phi$ = 20 mm.

Na drvenom stupu na visini 3,3 m od tla počinju antenske cijevi montirane jedna na drugu (slika 5.).

Antenska je cijev na dijelu gdje je fiksirana za drveni stup uvučena u PVC cijev i izolirana od stupa i stegnuta obujmicama u dvije razine po visini.

Na 2/3 visine, antena je usidrena na tri strane pod horizontalnim kutom 120° pomoću najlonskih užadi.
Način sidrenja antene može se izvesti i na druge načine, no bitno je da se koriste najlonska ili druga izolacijska užad.

Neposredno ispod donjeg kraja antene, na visini 3,3 m montirani su radijali duljine 20 m – ukupno 8 komada, od Cu žice 2,5 mm$^2$ u PVC izolaciji. Radijali su pričvršćeni na izolator koji ih izolira i distancira od stupa (pravilno su raspoređeni jedan nasuprot drugog oko podnožja antene). Radijali moraju biti postavljeni točno jedan nasuprot drugoga iste duljine kako ne bi došlo do deformacije dijagrama zračenja. Na kraju su svi radijali spojeni preko izolatora na ukopane drvene kolce koji osiguravaju istu visinu kraja radijala iznad tla 2,3 m kako ne bi došlo do deformacije dijagrama zračenja.

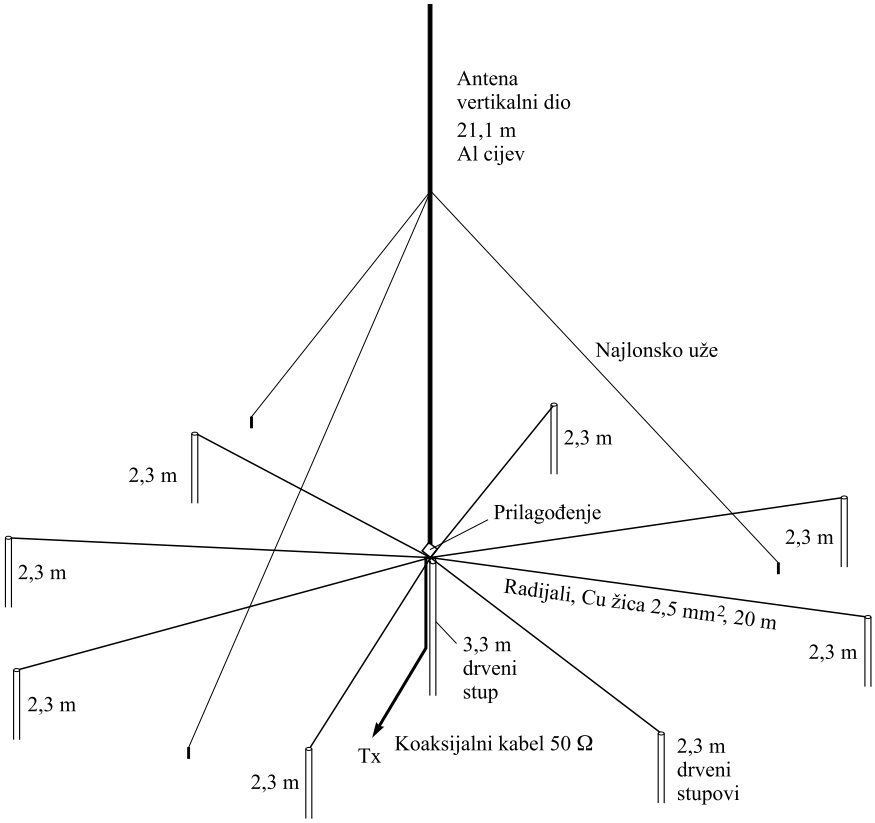
Ako bi došlo do znatnog odstupanja od dimenzija antenske cijevi ili radijala, promjene visine antene i radijala od tla, kao i broja radijala, potrebno bi bilo izvršiti novi proračun i mjerenja te korekciju elemenata antenskog prilagođenja.

Antenska kutija s instaliranim elementima prilagođenja montira se ispod podnožja antene na stup i sa što kraćim spojnim vodičima do antene i radijala.

Antena se napaja koaksijalnim kabelom RG 213, koji se pod pravim kutom prema radijalima uz stup dovodi do antenske kutije u kojoj su prilagodni elementi i *balun* 1:1.[Lit [3]]

Strujni *balun ugly choke* 1:1 mora imati induktivni otpor bar $X_L$ = 1 000 Ω na najnižoj radnoj frekvenciji.
*Balun* se namota koaksijalnim kabelom RG 213 s 20 zavoja na PVC cijevi $\Phi$ = 11 cm.

Antenu treba osigurati od udara groma, a time zaštiti i opremu. Treba napraviti adekvatno gromobransko uzemljenje ispod antene na koje ćemo se spojiti jer je antena izolirana od zemlje. Za konstantno odvođenje statike s antene prema zemlji treba koristiti *RF choke* tako da ne dolazi do naglog pražnjenja. Antena je na ovaj način VF izolirana od zemlje, a galvanski je spojena sa zemljom.




**Slika 5.** *Konstrukcija EVA-DX80*

*RF choke* je zavojnica velikog induktivnog otpora $X_L$ = 44 kΩ na 3 510 kHz, što odgovara induktivitetu 2 mH.
Ova se zavojnica mota s 250 zavoja lak žice d=1 mm na plastičnu cijev D = 100 mm.
Umjesto zavojnice može se koristiti otpor od 1 MΩ za statičko pražnjenje, ali je bolje staviti zavojnicu jer je efikasnija, a i možemo je vizualno kontrolirati. Paralelno s *RF choke* potrebno je montirati i iskrište u podnožju antene ako dođe do jakog i naglog pražnjenja koje ne može provesti *RF choke* (da se elektricitet provede u zemlju).

**Slika 6.** *Konstrukcija EVA-DX80 kod 9A6M*

Slika 6. i 7. EVA-DX80, koju je montirao 9A6M.

**Slika 7.** *Konstrukcija EVA-DX80 kod 9A6M*

## ZAKLJUČAK

Jačina signala antene EVA-DX80 je uspoređivana s klasičnim vertikalnim antenama s ukopanih 120 radijala postaja iz 9A i S5 koje imaju istu snagu predajnika. Uspoređivale su se jačine signala preko interneta, na mreži *Reverse beacon network* koju čine *skimmer* postaje na svim kontinentima.
Signal antene EVA-DX80 je bio podjednak, a često i jači u najudaljenijim točkama.

Kod vrlo dobrog tla EVA-DX80 je efikasnija jer su manji gubici nego kod antene sa 120 ukopanih radijala. Najveća prednost je manji elevacijski kut maksimalnog zračenja i do 15° koji se ne može postići kod antene s ukopanim radijalima, što je pogodno za DX veze. Ova antena efikasna je u predaji za DX veze pa se za prijam mora koristiti posebna prijamna antena jer se može dogoditi da nećete čuti korespondenta koji vas čuje.

EVA-DX80 antena s radijalima je napravljena na visini 3,3 m, što je trenutačno bilo moguće izvesti. Ako se poveća visina ili vodljivost tla ispod antene, smanjit će se gubici, povećat će se dobit i smanjiti elevacijski kut maksimalnog zračenja.

Možemo reći da je ovo minimalno prihvatljiva visina montiranja za opseg 80 m jer se na manjim visinama gube prednosti ove antene.

Prednosti ove antene pored tehničkih karakteristika su: EVA-DX80 antena podignuta je zajedno s radijalima na visinu koja onemogućuje fizički doticaj radijala koji na krajevima imaju visoki napon, radijale možemo lako vizualno kontrolirati kao i antenu, jeftinija je od vertikalne antene sa 120 ukopanih radijala, zahtjeva manje rada i materijala i ne zauzima se prostor ispod radijala.

Konačni zaključak nakon testiranja i više mjesečnog rada je da je EVA-DX80 efikasna DX antena.

**Literatura**


[1] SteppIR Antennas, Radial Systems for Elevated and Ground mounted Vertical Antennas.
[2] The ARRL, Antenna Book,19th edition.
[3] ON4UN, Low-Band DXing, fourth edition.
[4] 9A4ZZ, Radijali za vertikalne antene, 1. dio, 2. dio, Radio HRS 5/2009 i 1/2010.
[5] 9A4ZZ, Prilagođenje antena grafičkom metodom, Radio HRS 5/2005.