

**DIZAJN DL6WU JAGI ANTENA**  
**Preliminarne napomene**  
**L. B. Cebik, W4RNL**

Dizajn jagi-antena visokih performansi, dugačkog buma, za VHF opsege je u zadnje vreme inoviran radom nekolicine vrednih stručnjaka. Dizajn čiji je autor Rainer Bertelsmeier, DJ9BV, teži da grupiše direktore na 4s, dok je dizajn Joe Reiser-a, W1JR, za HyGain, našao prednosti u parovima direktora. Za uži frekventni opseg, Lief Asbrink, SM5BSZ je obezbedio vrlo kvalitetne primerke jagica visokog pojačanja i sa manje elemenata po datoj dužini buma. Tradicionalniji je autor Steve Powlishe, K1FO, čiji se radovi vide u više edicija *ARRL Antenna Book*. Svi ovi autori su imali jednog predhodnika. To je bio Gunter Hoch, DL6WU. Njegov pionirski rad je trajao tokom 80-tih i 90-tih, započevši stidljivo u *UKW-Berichte*, 1982 i kulminirajući u celom poglavlju *The VHF/UHF DX Book*, čiji je urednik bio Ian White, G3SEK, RSGB. Pozivajući se na seriju antena koje su DL6WU i DJ9BV (*DUBUS*, 2/1994) radili za 23 cm opseg, primetili smo da za samograditelje ovaj dizajn predstavlja izvanredan izbor, neuporediv u pogledu pojačanja, dijagrama zračenja, prilagodjenja i širokopojasnosti. Za bilo koji band od 144 MHz do 1296 MHz, DL6WU dizajn je etalon za međusobno poredjenje ostalih antena.

Reći samo da su DL6WU antene širokopojasne – nije dovoljno. Uz pažnju, duga jagi-antena iz serije za 432 MHz, pokriva ceo opseg sa punim performansama, pojačanjem, veličinom bočnih i stražnjih snopova i SWR-om. Može se adaptirati za direktno napajanje sa 50-omskim kablom ili sa 200-omskim savijenim dipolom. To je bezuslovno ostvarenje za band čija širina iznosi 7% od centralne frekvencije.

Medjutim, napomene koje sam izneo na DL6WU dizajn teže da se fokusiraju na performanse na 432 MHz do isključivosti za performanse u celom opsegu. Na primer, i poglavlje o antenama i poglavlje o opsegu 432 MHz u RSGB knjizi ukazuju na izvesne dužine jagi antena (gde se dužina antene izražava bilo u dužini buma ili u broju elemenata) koje imaju bolji odnos napred-nazad. Mada je to istina za dizajn na 432 MHz, to ne mora biti istina za ceo radni opseg antene. Staviše, pojedinac koji želi da sagradi neku od DL6WU antena ima izvesnu slobodu u krojenju antenskih karakteristika (bez obzira na dužinu buma).

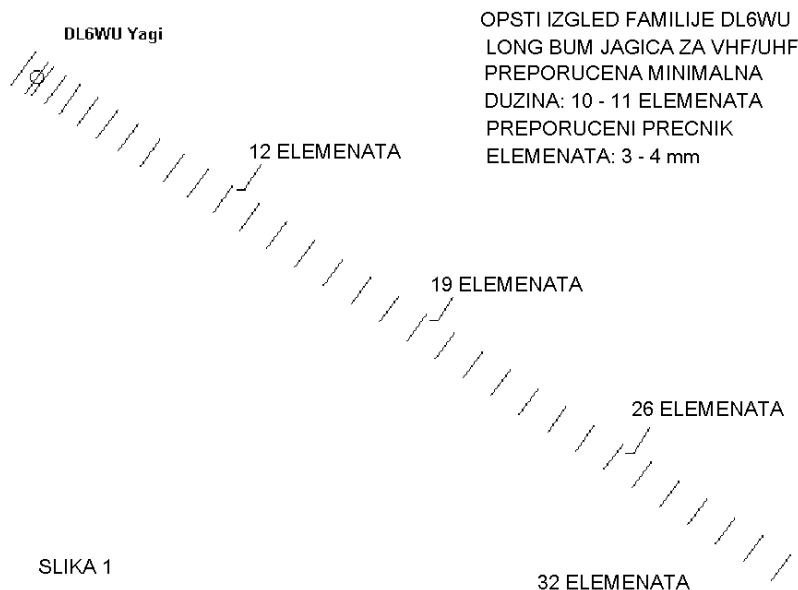
Dakle, ove napomene predstavljaju preliminarnu procenu DL6WU dizajna, tragajući za razlogom njene bolje širokopojasnosti. Medjutim, polazna tačka se ne pronalazi sasvim lako. DL6WU dizajn se javlja generalno u dva formata: u tabelama i grafikonima u knjigama i člancima i u softverski-generisanom dizajnu. Pošto je evolucija Ginterovog dizajna potrajala više godina, pojavilo se puno izvora koji se međusobno ne poklapaju u svim detaljima. Za ovu priliku, obnovio sam dizajn za 432 MHz iz poglavlja 10 RSGB knjige, kojega sam modifikovao do tog stepena da se redimenzionišu dimenzije radijatora i prvog direktora za najbolji radni opseg, a ove popravke su sasvim mali zahvat. Rastojanje između elemenata i dužina elemenata (sa upravo spomenutim izuzetcima) ostaju onakvi kako su specifikovani na stranama 10-35 Knjige. Izborom ovih dimenzija kao osnove za istraživanje postiže se konzistentni početak, u najmanju ruku.

Istraživačko vozilo je NEC-4, koji je izgleda malo precizniji od NEC-2, na 432 MHz. Odstupanja se mnogo bolje iskazuju sa većim prečnikom elemenata i sa brojanjem više segmenata. Dakle, ako je dostupna, upotreba komande za prošireno EK jezgro od debele žice u NEC-2 biće sasvim od koristi, posebno ako odnos dužina segmenata prema prečniku pada ispod 4:1. Upotreba kompjuterskog modelirajućeg softvera koji je adekvatan za ovaj zadatak, ima nekoliko prednosti za testirano područje. Na primer, uslovi ispitivanja ne uključuju varijacije između modela. Neko može postaviti antenu u slobodni prostor i proveravati bilo koji parametar radi komparacije. Uslovi ispitivanja su: elementi su slobodni, čisti, izolovani od bilo kakvih efekata provodnog materijala od kojeg je sastavljen bum. Postoje brojni resursi za otkrivanje kakva doterivanja treba vršiti da bi se elementi postavili u blizinu metalnog buma ili kroz metalni bum.

Druga prednost kompjuterskog modeliranja je pristup podacima koji se obično ne mere ili čak nisu merljivi u ovakvoj vrsti ispitivanja. Poseban primer ovog istraživanja je relativna amplituda i faza struje kroz element, sa posebnom referencom na struju u centru radijatora i prvog direktora. Imaćemo više primera za ove struje kod nekoliko uzoraka antena.

Potpuna studija DL6WU jagica mora da proverava svaku pojedinačnu antenu u sekvencama. Ova studija je samo preliminarna i sama sebe ograničava na 3 uzorka: 12, 19 i 26 elemenata. Interesantno, u RSGB knjizi postoji, u odnosu na 32-elementni limit, progresija dužine buma u koracima po 7 elemenata. Ako 32-elementnoj verziji dodelimo dužinu 1, tada izabrane antene imaju dužine u blizini brojeva 0,25, 0,50 i 0,75. Ovaj fenomen rezultuje iz činjenice da je za daljnjih 13 direktora međusobno rastojanje isto i iznosi 0,4 talasa.

**Slika 1** prikazuje izgled antene sa svih 32 elemenata, sa dužinama uzoraka koje želimo da ispitamo. Naredna tabela prikazuje dimenzije u milimetrima i talasnim dužinama. Elementi su prečnika 4 mm, materijal je aluminijum za sve modele. Jedna od karakteristika DL6WU dizajna je da koristi relativno velike prečnike elemenata. 4 mm na 432 MHz je ekvivalent od 12 mm na 144 MHz.



SLIKA 1

32-ELEMENTNA DL6WU JAGI ZA 432 MHZ (I SA 12, 19 I 26 ELEMENATA)

Element	Dužina elementa		Kumulativno rastojanje		NAPOMENA
	mm	Talasnih dužina	mm	Talasnih dužina	
Reflektor	340.6	0.491	---	---	
Radijator	330.0	0.476	138.8	0.200	
1	301.6	0.435	190.8	0.275	
2	299.2	0.431	315.8	0.455	
3	295.6	0.426	465.0	0.670	
4	292.2	0.421	638.4	0.920	
5	289.2	0.417	832.8	1.200	
6	286.4	0.413	1040.9	1.500	
7	284.2	0.410	1259.5	1.815	
8	282.2	0.407	1488.6	2.145	
9	280.4	0.404	1728.0	2.490	
10	278.8	0.402	1977.8	2.850	12.Element
11	277.4	0.400	2238.0	3.225	
12	276.0	0.398	2508.7	3.615	
13	274.8	0.396	2786.3	4.015	
14	273.8	0.395	3063.9	4.415	
15	272.8	0.393	3341.4	4.815	
16	271.8	0.392	3619.0	5.215	
17	270.8	0.390	3896.6	5.615	19.Element
18	270.0	0.389	4174.2	6.015	
19	269.2	0.388	4451.8	6.415	
20	268.4	0.387	4729.4	6.815	
21	267.6	0.386	5007.0	7.215	
22	267.0	0.385	5284.5	7.615	
23	266.2	0.384	5562.1	8.015	
24	265.7	0.383	5839.7	8.415	26.Element
25	265.0	0.382	6117.3	8.815	
26	264.5	0.381	6394.9	9.215	
27	263.9	0.380	6672.5	9.615	
28	263.3	0.379	6950.1	10.015	
29	262.8	0.379	7227.6	10.415	
30	262.3	0.378	7505.2	10.815	

Napomena: Dimenzije su preuzete iz RSGB izdanja *VHF/UHF DX Book*, Ian White, G3SEK, osim dužina za radijator i prvi direktor, koji su naknadno podešeni za veći frekventni opseg. Debljina elemenata je 4 mm, materijal aluminijum.

U napomenama o dizajnu za ovu familiju antena, našli smo referencu za izvesne dužine koje imaju bolji odnos napred-nazad, sa opsegom 14-15, 19-20, 24-25 i 30-31 elemenata, koje su procenjivane. Samo jedana antena iz naših uzoraka pada u one sa najboljim odnosom napred-nazad, 19-elementna verzija. 26-elementna antena je blizu, ali zato je 12-elementna daleko od poželjne pozicije. Naravno, 12-elementna antena je blizu minimalne preporučene dužine za bilo koju antenu DL6WU.

**12 ELEMENATA**

AZIMUTALNI DIJAGRAM

ELEVACIONI UGAO 0,0 STEPENA

SPOLJNI PRSTEN 14,73 dBI

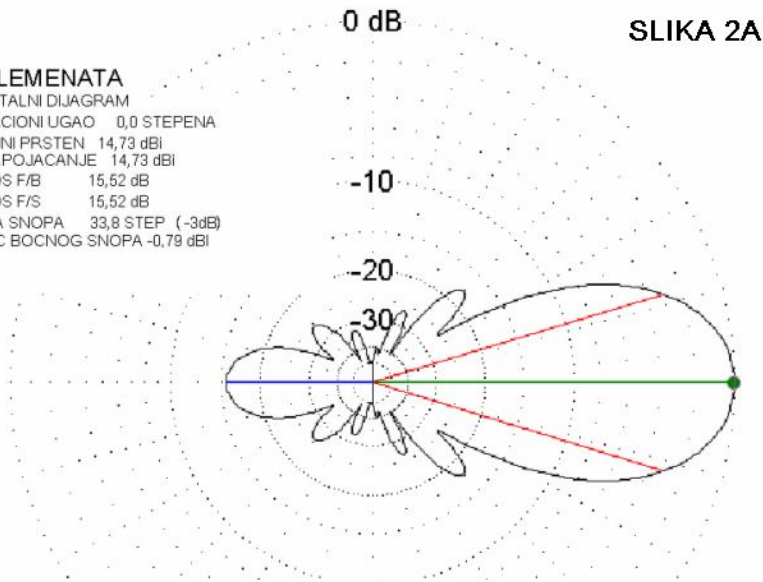
MAKS. POJACANJE 14,73 dBI

ODNOS F/B 15,52 dB

ODNOS F/S 15,52 dB

SIRINA SNOPA 33,8 STEP (-3dB)

POJAC BOCNOG SNOPA -0,79 dBI

**19 ELEMENATA**

AZIMUTALNI DIJAGRAM

ELEVACIONI UGAO 0,0 STEPENA

SPOLJNI PRSTEN 17,21 dBI

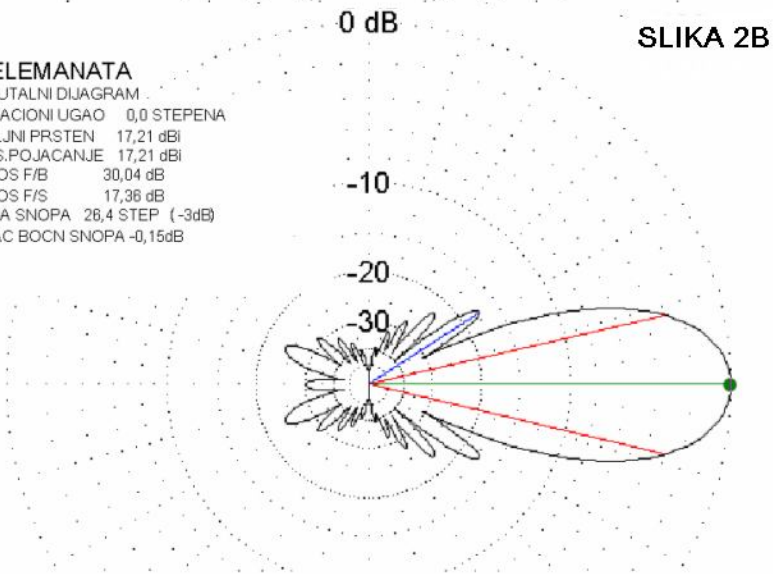
MAKS. POJACANJE 17,21 dBI

ODNOS F/B 30,04 dB

ODNOS F/S 17,36 dB

SIRINA SNOPA 26,4 STEP (-3dB)

POJAC BOCNOG SNOPA -0,15 dB

**26 ELEMENATA**

AZIMUTALNI DIJAGRAM

ELEVACIONI UGAO 0,0 STEPENA

SPOLJNI PRSTEN 18,59 dBI

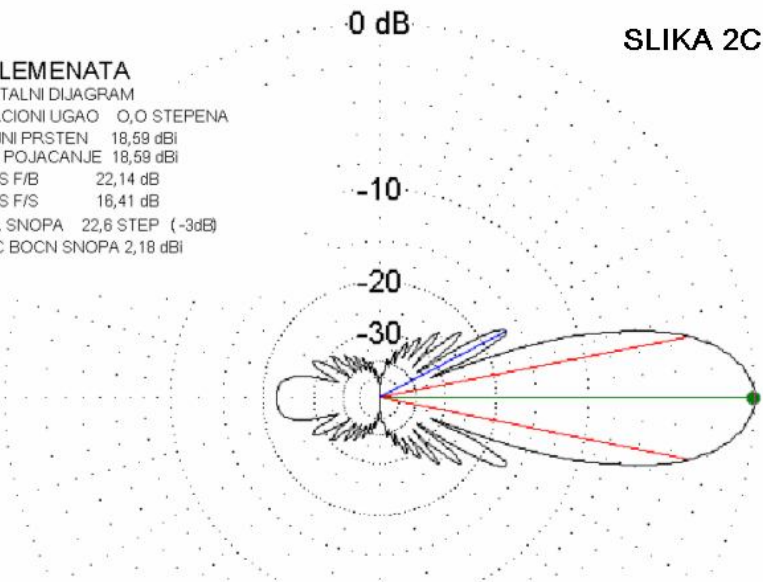
MAKS. POJACANJE 18,59 dBI

ODNOS F/B 22,14 dB

ODNOS F/S 16,41 dB

SIRINA SNOPA 22,6 STEP (-3dB)

POJAC BOCNOG SNOPA 2,18 dBI



Slika 2 – Modelirani azimutalni dijagram za slobodni prostor i podaci za uzorke za 432 MHz

Tabelarna forma

MODELIRANI PODACI ZA TRI UZORKA DL6WU JAGICE ZA 432 MHz			
Broj elemenata	12	19	26
Dužina buma wl	2.850	5.615	8.415

Dužina buma (mm)	1978	3897	5840
Dužina buma (inči)	77.87	153.41	229.9
Dužina buma (fiti)	6.49	12.78	19.16
Pojačanje (dBi)	14.73	17.21	18.59
Odnos napred-nazad (dB)	15.52	30.04	22.13
Najgori slučaj odnosa napred-nazad (dB)	15.52	23.78	22.13
Odnos napred-bok (dB)	17.71	17.36	16.41
Horiz. širina snopa (stepena za -3 dB)	33.8	26.4	22.6
Impedanca napojne tačke Z (R+/-jX oma)	60.2-j11.4	57.8+j 6.6	50.2-j0.1
SWR za 50 oma	1.319	1.209	1.005

Pored očekivanih varijacija u pojačanju, u skladu sa dužinom buma i brojem elemenata, podaci takođe dozvoljavaju izvestan pogled u rad jagice, pogotovo kada se uzmu u obzir zajedno sa dijagramom na slici 2. Modeli generalno potvrđuju tezu najbolje veličine antene za najbolji odnos napred-nazad. Medjutim, ako se dobro pregledaju zadnji kvadranti na dijagramu zračenja, videće se da nema mnogo razlike između 19 i 26-elementne antene.

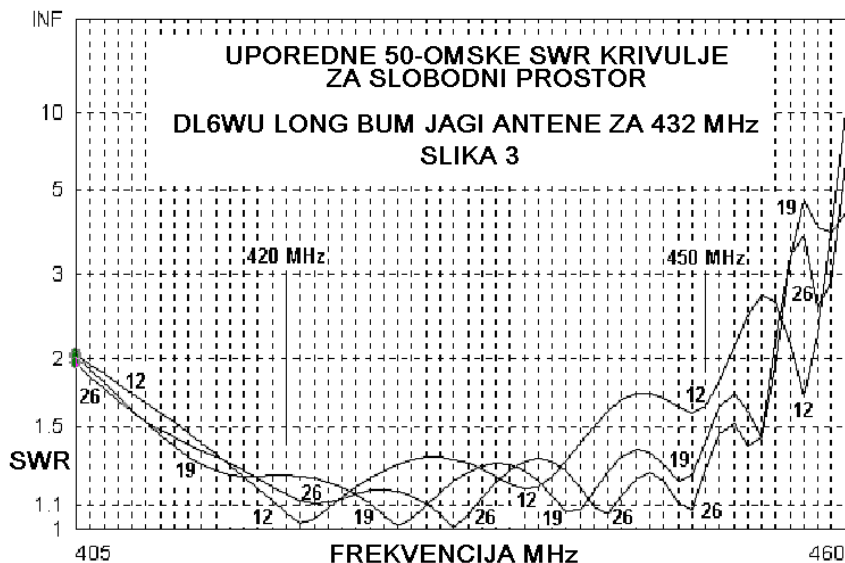
Očekivan je razvoj dodatnih i prednjih i zadnjih bočnih snopova sa porastom dužine buma. Ako bi smo sudili samo na ova tri uzorka antene, ustanovilo bi se da odnos glavnog snopa prema najjačim prednjim bočnim snopovima pada sa porastom dužine buma. Medjutim, ostavljam za daljnja ispitivanja da se odredi da li to važi za sve antene u ovoj seriji. DL6WU navodi prosečan odnos od 17 dB, sa preporukom kako da se prepodesi antena ako treba taj odnos da se popravi. Napomena je možda indikativna - da ovaj izumitelj antena nije u potpunosti procenio njihovu karakteristiku širokopojasnosti.

### Opšta široko-pojasna svojstva DL6WU jagica za 432-MHz band

Da bih dobio svojstva u pogledu širokopojasnosti, stavio sam sve tri jagice na frekventno vobuliranje. Donja granica vobulacije je bila 405 MHz gde je SWR upravo sekao vrednost 2:1. Sve antene imaju jednostruke, 50-omske radijatore. Bili bi mogući i savijeni dipoli sa 20 oma impedancije i, uz dodatna doterivanja sa prvim direktorom, takva antena bi trebala da bude još širokopojasnija za isti SWR.

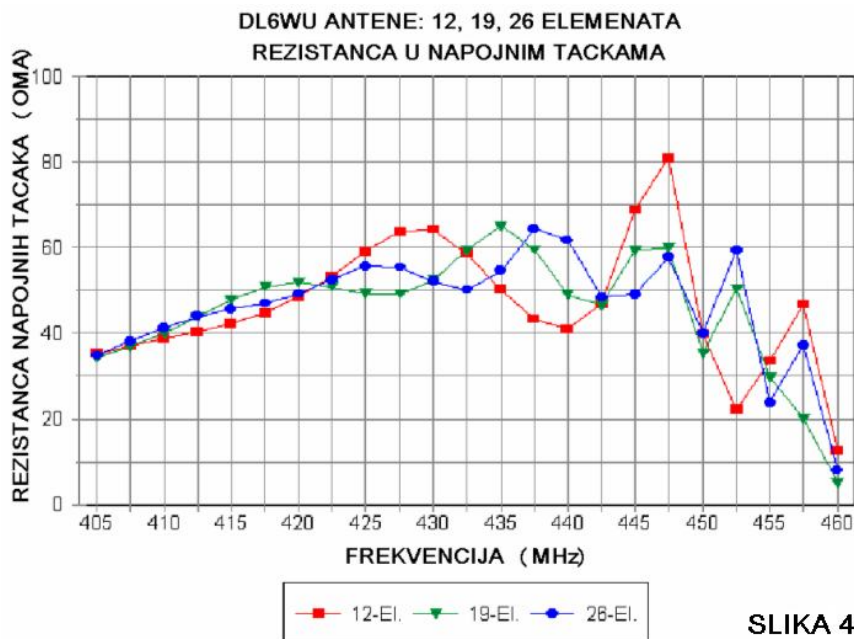
Gornja granica za SWR 2:1 je bila između 452 i 456 MHz, kako za koju antenu. Postavio sam gornju granicu vobulacije na 460 MHz da bih otkrio nešto od mogućih čudnih vrednosti za sve parametre koje se javljaju na kraju opsega. Za skoro sve radne parametre, gornji kraj frekventnog opsega je znatno promenljiviji u odnosu na dobro "vaspitani" donji kraj banda.

Kao što se moglo očekivati, rezultati ispitivanja vobulacijom najbolje su otkrili podatke kroz seriju grafikona.



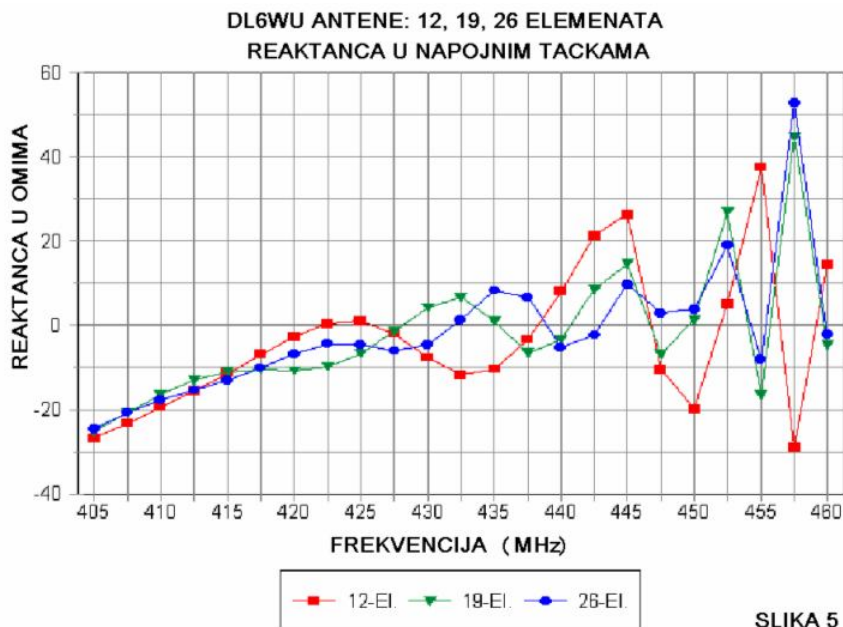
Slika 3 prikazuje krivulje SWR-a u inkrementima po 1 MHz od 405 do 460 MHz, za sve tri antene. Prvi utisci mogu da ne primete dobro ponašanje antena u opsegu 420 – 450 MHz. Medjutim, na grafikonu postoji nešto više od prostog utiska. Primećuje se da SWR ima nekoliko minimalnih vrednosti. 12- i 19-elementna antena imaju po 3, dok 26-elementna antena ima 4 ulegnuća. Ovo su neuobičajeno velike vrednosti, jer većina širokopojasnih HF antena pokazuje najviše 2. Medjutim, ove antene imaju znatno manje elemenata čak i od najkraće verzije na ispitivanju, a broj ulegnuća izgleda da raste sa brojem elemenata.

Takođe, primećuje se da se prvo ulegnuće SWR-a javlja dalje duž početnog dela krivulje kako se povećava broj elemenata. (Ovo podleže dodatnim istraživanjima da bi se ustanovilo da li je to generalno tačno ili samo sledi periodičnu progresiju, što se dešava sa odnosom napred-nazad za 432 MHz). Što je dalje desno mesto gde se javlja prvi minimum, to je niži SWR na desnom kraju propusnog pojasa – barem do vrednosti koja ispada izvan kontrole.



**SLIKA 4**

Pošto je SWR funkcija rezistancije i reaktance u napojnoj tački u odnosu na neku standardnu impedancu, korisno je vobulirati i rezistancu i reaktancu u propusnom opsegu. **Slika 4** vobuliše rezistancu u intervalima 2,5 MHz. (Svi grafikoni osim za SWR koriste interval od 2,5 MHz zbog potrebe za ručnim transferom podataka na spredšit grafičkog programa). Ako se blokira region iznad 455 MHz, videće se da 19 i 25-elementna antena preduzimaju mnogo manje "izlete" u rezistanci napojne tačke, a prve ozbiljnije promene su na višoj frekvenciji nego za 12-elementnu antenu.



**SLIKA 5**

Krivulje reaktance napojne tačke na slici 5 pokazuju isti rezultat: naniže manje šetnje u reaktanci sve dok se ne dodje do 452 MHz. Iznad ove frekvencije, sve verzije antene imaju velike promene bilo induktivne bilo kapacitivne reaktance. I za krivu rezistancije i reaktance, nalazimo najveće promene između 440 i 450 MHz, mada je SWR u tim regijama još uvek bezazlen.

Istraživanje vrednosti napojne tačke – rezistancija, reaktancija i SWR – ne broje se sami po sebi za široki radni opseg niti se bilo koja vrednost vrti oko tih parametara. Da bi smo dublje istražili varijacije krivulja moramo da se okrenemo relacijama koje vladaju između reflektora, radijatora i prvog direktora.

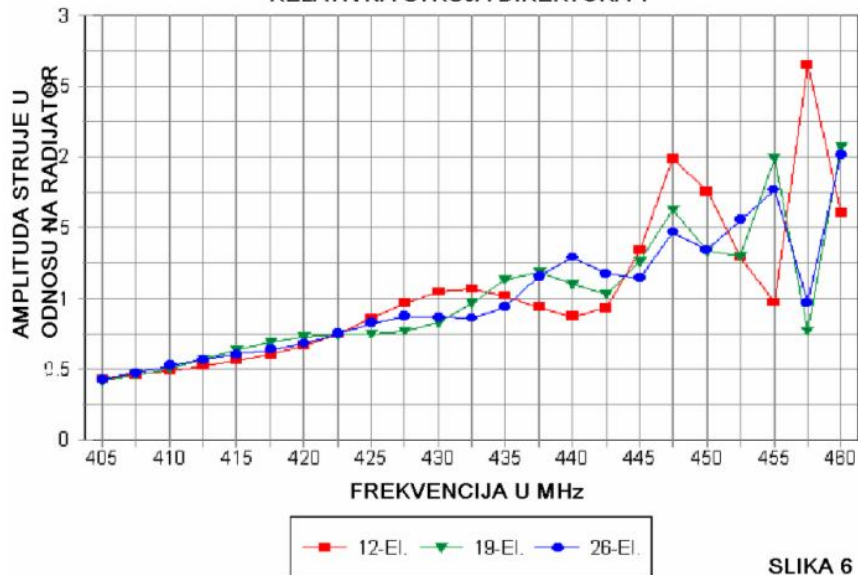
Dužina reflektora zajedno sa njegovom udaljenošću od radijatora, teži da suzi impedancu napojnih tačaka. Što veće rastojanje, to veća impedancija. Ova relacija je održiva za antene kod kojih je prvi direktor udaljeniji od 0,1 talasa od radijatora.

DL6WU je prepoznao da rastojanje prvog direktora kakvo je koristio – 0,075 lambda – igra važnu ulogu u impedancu radijatora. Ustvari, objašnjavao je da je direktor prilagodni element. To je medju-relacija rastojanja reflektora i radijatora i prvog direktora, zajedno sa specifičnim dužinama ovih elemenata, koja direktno utiče na impedancu i propusni opseg. Neki pokušavaju da ovaj aranžman nazovu verzijom OWA, (optimized wide-band antenna, optimizovana široko-pojasna antena), ja radije rezervišem taj pojam za kompleksnije sisteme koje su razvili WA3FET i NW3Z, koji uključuju drugi i treći direktor, pored prvog, kao deo ćelije za određivanje širine pojasa.



Kada je prvi direktor blisko postavljen prema radijatoru - bliže od možda 0.09 do 0.10 talasa – dešava se nekoliko stvari. Za datu impedancu napojne tačke, reflektor bi mogao da bude bliže nego kod usko-pojasnih antena. Drugo, ispravnim dimenzionisanjem i rastojanjem prvog direktora prema radijatoru, može se postići značajno proširenje propusnog opsega. Pod ovim uslovima, prvi direktor služi za nešto više nego što je prilagodni parazitski element.

DL6WU ANTENE: 12, 19, 26 ELEMENATA  
RELATIVNA STRUJA DIREKTORA 1



SLIKA 6

**Slika 6** trasira relativnu amplitudu struje prvog direktora za sve tri antene. Trenutna veličina na svim tačkama je relativna u odnosu na magnitudu 1,0 napojne tačke radijatora. U donjem delu frekventnog regiona, struja prvog direktora izgleda normalno velika i kao frakcija napojne struje.

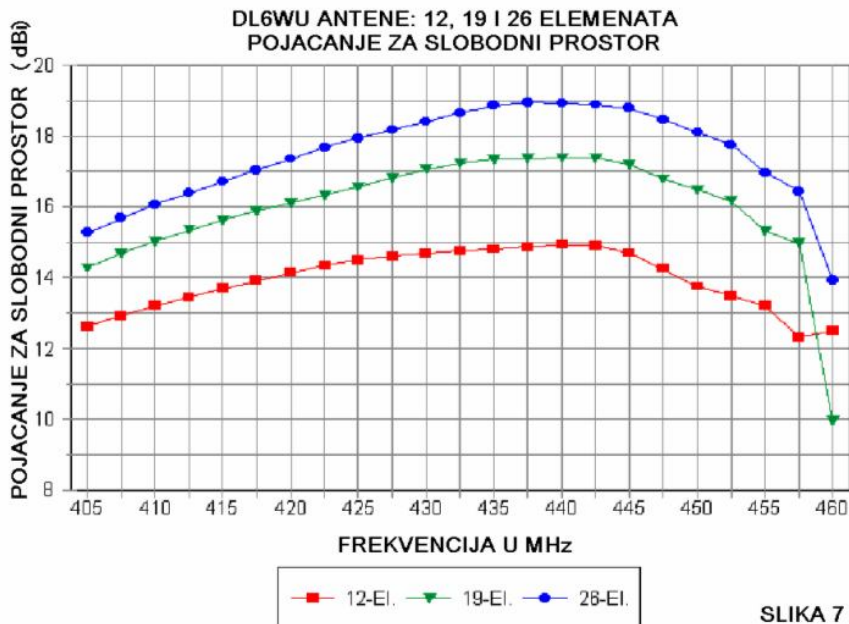
Međutim, kako prilazimo sredini propusnog pojasa, struja prvog direktora raste do nivoa iznad struje radijatora. Iznos za koji struja prvog direktora premašuje struju radijatora raste sa rastom frekvencije. Kad god je struja prvog direktora blizu ili iznad struje radijatora, možemo da smatramo prvi direktor kao sekundarni ili parazitski radijator antene.

Jednako značajno za rad DL6WU antene je talasanje krivulje relativne amplitude struje. Postoji pokušaj korelacije između strujne tranzicije kroz vrednost 1,0 i minimuma/maksimuma SWR-a u gornjoj polovini propusnog pojasa. Prolazi nadole su u korelaciji sa prilazom minimumu SWR-a, dok je tranzicija nagore u korelaciji sa maksimumom SWR-a. Za daljnje istraživanje barem jedno je jasno: tekuća strujna magnituda prvog direktora mnogo utiče na rezistancu i reaktancu napojne tačke, a time i SWR-a.

Ovaj fenomen nije nezavisan od ostalih elemenata antene. Ista ćelija napojne tačke (reflektor – radijator – prvi direktor) sa preostalim direktorima ne stvara isti tip šetnji impedance, ili isti radni propusni opseg. Čak i pri sistematskom razvoju serije direktora, svaki novi direktor ima determinantni uticaj na rad ćelije napojne tačke. U okviru rasporeda direktora kako je to dao DL6WU, ćelija napojne tačke obezbeđuje izuzetno široki opseg na bilo kojoj dužini buma, uprkos varijacijama od jedne do druge dužine.

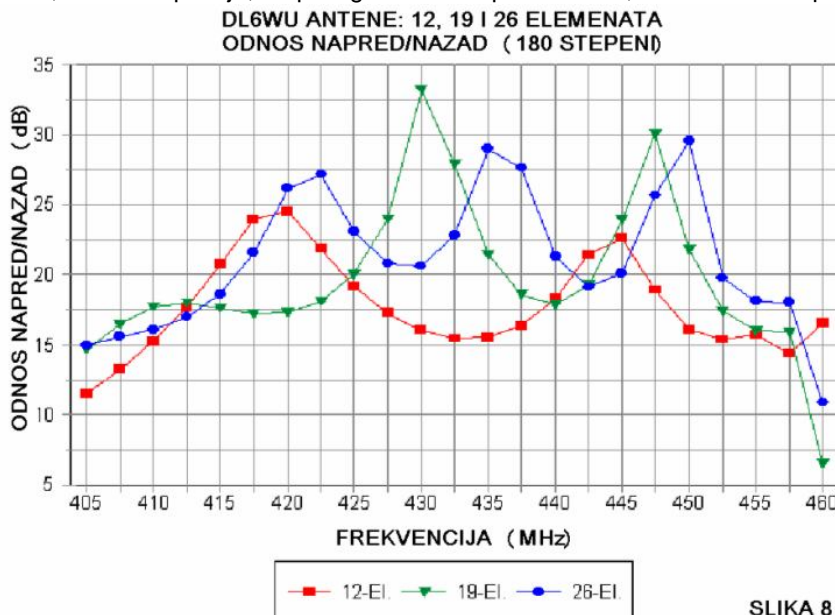
U srcu dizajna ćelije napojne tačke su empirijski određene dužine elemenata i rastojanja koja proširuju radni opseg dalje nego bilo koji drugi dizajn za koji znam. Drugi dizajni mogu da pridju blizu radnog opsega DL6WU antena, ali samo uz upotrebu prečnika elemenata koji su višestruko deblji od 4 mm iz našeg primera. Međutim, potrebno je još mnogo istraživanja na ovom planu.

Jedna je stvar postići široki radni opseg kroz pojam impedance napojne tačke, a sasvim drugi – proširiti parametre i performanse preko tog istog radnog opsega. Uspeh antena DL6WU proističe iz dostignuća u ovoj kategoriji, kao što su već pomogle tehnike nivelisanja impedance.



**SLIKA 7**

Slika 7 daje krivulje pojačanja za sve tri antene od 405 do 460 MHz. Krivulje se pitomo ponašaju do frekvencije najmanje 445 MHz. Od ovog trenutka nadalje, krivulja pojačanja je blago čudljiva, sa mnogo promena izvan limita opsega. Medjutim, najveća antena od ove tri predupređuje započinjanje ovakvog ponašanja do iza oznake za 450 MHz. Što je manja antena, manje je i pojačanje ali i dublje u radnom opsegu kriva pokazuje manje od mirnog ponašanja. Medjutim, generalizacija je namerna, čekajući na kompletniju studiju cele serije DL6WU antena. Primitno je da radna tačka za 432 MHz, zajednička za sve tri antene, nije u koincidenciji sa maksimalnim pojačanjem. Iznos dodatnog pojačanja koji bi se mogao postići, teži da se poveća sa sveukupnom dužinom antene. Naravno, DL6WU dizajn izgleda da je namerno smešten u poziciju za stabilno pojačanje, tako da sam-svoj-majstor može, uz dužnu pažnju, da postigne dobru repliku antene, makar i ne sa apsolutno maksimalnim pojačanjem.



**SLIKA 8**

Možda najzanimljivija priča isplivava iz krivulja odnosa napred-nazad (na 180 stepena) na slici 8. Krivulje pokazuju za svaku jagicu posebno, u radnom opsegu 420-450 MHz, najmanje dva šiljka, odnosno, sa 26-elementnom antenom 3 šiljka. (Zaravnjeni šiljci pokazuju samo da se maksimalna vrednost odnosa napred-nazad javlja izmedju uzorkovanih tačaka). 12-elementna antena pokazuje šiljke na oko 418 i 444 MHz, a 19-elemenatna na 430 i 448 MHz. Za manju antenu, 432 MHz je blizu minimalne vrednosti, dok je kod srednje antene, 432 MHz u blizini maksimuma.

Najduža antena ima pikove na 422, 436 i 449 MHz. Struktura ovih krivulja sugerise da sa dodavanjem novih direktora, šiljci odnosa napred-nazad se pomiču više po frekvenciji, sa padom frekventnog raspona izmedju dva pika. Na izvesnoj, ali još uvek nedeterminisanoj tački, pri dodavanju direktora pojaviće se novi šiljak na nižem kraju opsega, a frekventni raspon se i dalje smanjuje izmedju šiljaka. Istovremeno, najniži nivo do kojeg može doći odnos napred-nazad raste, ostavljajući minimalnu vrednost odnosa napred-nazad za antenu. Grafikon razjašnjava uspinjuću vrednost minimuma pri porastu dužine antene.

Značajna je, takodje, činjenica da je krivulja najnižeg odnosa napred-nazad i najšira, ako uzmemo neku proizvoljnu vrednost kao marker, na primer 20 dB. Krivulje na višim frekvencijama postaju oštrije. Osim za one dužine za koje 432 MHz odgovara maksimumu odnosa napred-nazad, ako bi smo poželeti da radimo antenu za maksimalni odnos

napred-nazad, mogli bi smo da žrtvujemo pojačanje za račun šireg SWR dijagrama, a time i neophodne preciznosti konstrukcije – koja je olakšana.

Sve u svemu, pozivao sam se na krivulju odnosa napred-nazad na 180 stepena, pošto se ona najlakše dobije iz modelirajućih programa. Međutim, kako se vidi na **slici 2**, krivulja na 180 stepena ne koincidira uvek sa najgorim slučajem. Za bilo koji specifični dizajn, mora se proveriti i ovo drugo, zajedno sa odnosom napred-bok. Naravno, treba ustanoviti kolika se snaga raspodeljuje u sve sporedne snopove.