

Korekcija dužine elemenata usled uticaja nosača Yagi antene

Dragoslav Dobričić, YUIAW

dragan@antennex.com

Uvod

Nosač Yagi antene je neizbežni deo njene konstrukcije. Teorijski, Yagi antena može da radi dobro i bez nosača. Praktično, to je moguće jedino ako je nosač napravljen od električno neprovodnog materijala (drvo, fiberglas, itd.). U stvari, metalni nosač nije deo aktivnog sistema antene koji zrači nego je neizbežan deo njene noseće konstrukcije.

Yagi antena može biti sagrađena tako da su njeni elementi izolovani i udaljeni od metalnog nosača ili da prolaze kroz njega. Ovaj drugi metod može biti izveden na dva načina: prvi, da su elementi električno spojeni za metalni nosač, i drugi, da su elementi izolovani od metalnog nosača. Svi ovi načini montaže elemenata na nosač imaju svojih prednosti i mana kao i različit uticaj nosača na elemente antene.

Do sada smo, u nekoliko prethodnih članaka [1, 2, 3], istraživali kako prečnik nosača i njegovo rastojanje od elemenata antene utiče na karakteristike šest različitih Yagi antena za 2m koje su slične u svim karakteristikama osim u veličini Q faktora [4, 5]. U tim člancima smo pokazali kako taj nepotreban ali neizbežan „uljez“ utiče na performanse Yagi antene kada su elementi izolovani i postavljeni na različita rastojanja od provodnog nosača.

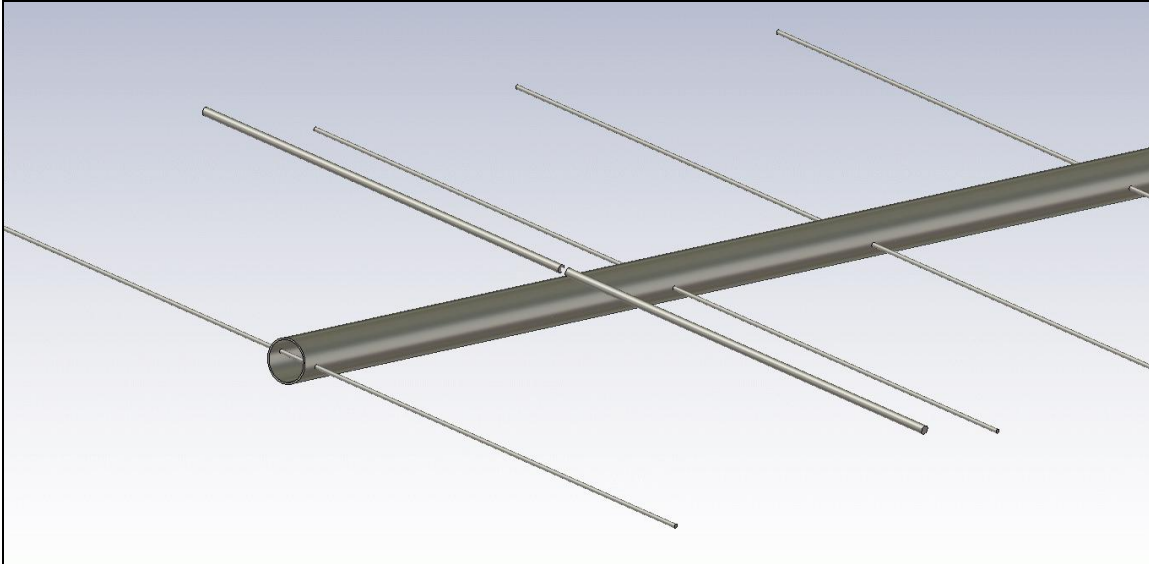
Međutim, kako nosač utiče na elemente koji prolaze kroz njega i nisu izolovani? To je pitanje na koje ćemo pokušati da damo odgovor na osnovu istraživanja čiji su rezultati prezentirani u ovom članku.

Prisustvo provodnog nosača i veličina njegovog prečnika imaju uticaja na Yagi antenu tako što joj menjaju dijagram zračenja i ulaznu impedansu. Na osnovu teorijskih proračuna i praktičnih merenja poznato je da prisustvo debelog, provodnog nosača u blizini elemenata ima tendenciju da skraćuje efektivnu dužinu elemenata i zbog toga pomera karakteristike antene ka višim frekvencijama. Na dijagramima prikazanim u našim prethodnim člancima možemo videti da se krive aktivne i reaktivne ulazne otpornosti pomeraju na višu frekvenciju simultano sa povećanjem prečnika nosača.

Kao posledica toga rezonantna frekvencija i krive ulaznog prilagođenja (povratnog slabljenja) se takođe pomeraju ka višim frekvencijama. Kao što se očekivalo i krive širokopojasne direktivnosti se takođe pomeraju na više frekvencije.

Antene pokazuju različitu osetljivost na uticaje okoline zavisno od svog dizajna, i zbog toga se može očekivati da antenski nosač, kao nepoželjni element, može proizvesti različite uticaje na antene različitog dizajna.

U ovom istraživanju ispitaćemo kako metalni nosač utiče na karakteristike antene kada elementi prolaze kroz njega i nisu izolovani.



Sl. 1 Model Yagi antene sa neizolovanim elementima koji prolaze kroz metalni nosač i sa izdignutim aktivnim dipolom

Korekcija dužine elemenata

U slučaju pomeranja performansi antene po frekvenciji neophodno je izvršiti kompenzaciju dužine elemenata da bi se očuvale performanse antene na željenoj frekvenciji. Način montaže elemenata, prečnici nosača i elemenata, kao i njihovo međusobno rastojanje određuju veličinu uticaja nosača i neophodnu korekciju dužine elemenata.

Kao što smo već pomenuli u jednom od naših ranijih članaka korekcija dužine elemenata montiranih iznad nosača je proporcionalna prečnicima nosača i elemenata kao i njihovom međusobnom rastojanju. Usvojeno „empirijsko pravilo“ na 2 m opsegu je da, za elemente montirane neposredno iznad gornje površine nosača ali električno izolovane od nosača, korekcija iznosi oko 25% od prečnika nosača.

Za elemente montirane na većoj visini iznad gornje površine nosača, korekcija dužine se smanjuje da bi pri visini od polovine prečnika nosača bila nepotrebna zbog zanemarljivog uticaja nosača na efektivnu dužinu elemenata. Nažalost, u našim ranijim istraživanjima pokazalo se da to nije tačno. Rezultati sprovedenih simulacija pokazuju da se uticaj nosača proteže na mnogo veće rastojanje nego što ovo usvojeno pravilo sugerise. Takođe je ustanovljeno da rastojanje od 300 mm između nosača i elemenata, što predstavlja 0.15 talasnih dužina na 2 m opsegu, nije dovoljno veliko da bi proizvelo beznačajne efekte na direktivnost i dijagram zračenja antene [1].

Za elemente koji prolaze kroz nosač i električno su spojeni sa njim, korekcija dužine elemenata je oko 25-45% prečnika nosača, a za elemente koji prolaze kroz nosač i izolovani su od njega korekcija je oko 15-25% prečnika nosača, za uobičajene prečnike nosača (20-50 mm). Za nosače sa većim prečnikom potreban je viši procenat korekcije zbog mnogo izraženijeg uticaja nosača na antenu. Na višim frekvencijama procenat korekcije je mnogo viši i na 432 MHz je oko dva puta viši nego na 144 MHz.

Uslovi pod kojima su vršene simulacije

Svih šest antena koje su korišćene u prošlim člancima ponovo su simulirane pod istim uslovima. Provodni okrugli nosač promenljivog prečnika postavljen je tačno u osu antene tako da elementi prolaze pravo kroz centar cevi nosača. Osa nosača i ose elemenata seku se pod pravim uglom (Sl. 1).

To predstavlja simulaciju Yagi antene sa elementima koji nisu izolovani od nosača i montirani su tako da prolaze kroz metalni nosač.

Uslovi pod kojima su vršene simulacije su vrlo slični praktičnoj situaciji kada je samo jedna antena, sa okruglim metalnim nosačem i elementima koji prolaze kroz njega neizolovano postavljena na vrh visokog i tankog stuba. Međutim, sam stub nije deo simulacionog modela.

Dužina elemenata je menjana da bi se kompenzovali uticaji nosača na elemente. Ta produženja elemenata poznata kao *boom correction* menjana su u opsegu od 0 do 20 mm. Korekcija je primenjena na sve elemente podjednako osim na aktivni dipol pošto on ne prolazi kroz metalni nosač. Osa aktivnog dipola je izdignuta iznad gornje površine nosača za veličinu poluprečnika nosača. Tokom simulacija poluprečnik nosača je menjan od 10 do 25 mm kao parametar. Debljina zida metalne cevi nosača je određena da bude 2 mm.

Na kraju je metalni nosač uklonjen i antena bez nosača i bez korekcije elemenata je simulirana sa istim prostornim diskretizacionim parametrima u programu, kako bi se dobila precizna referentna vrednost u svrhu poređenja. Ti rezultati su označeni imenom „*no boom*“ na dijagramima.

Kao i u prethodnim člancima, za ovaj posao korišćen je profesionalni program za elektormagnetne simulacije baziran na FIT metodi umesto uobičajenih MoM baziranih programa koji su se pokazali neodgovarajući zbog nekoliko dobro poznatih i dokumentovanih programskih ograničenja [3].

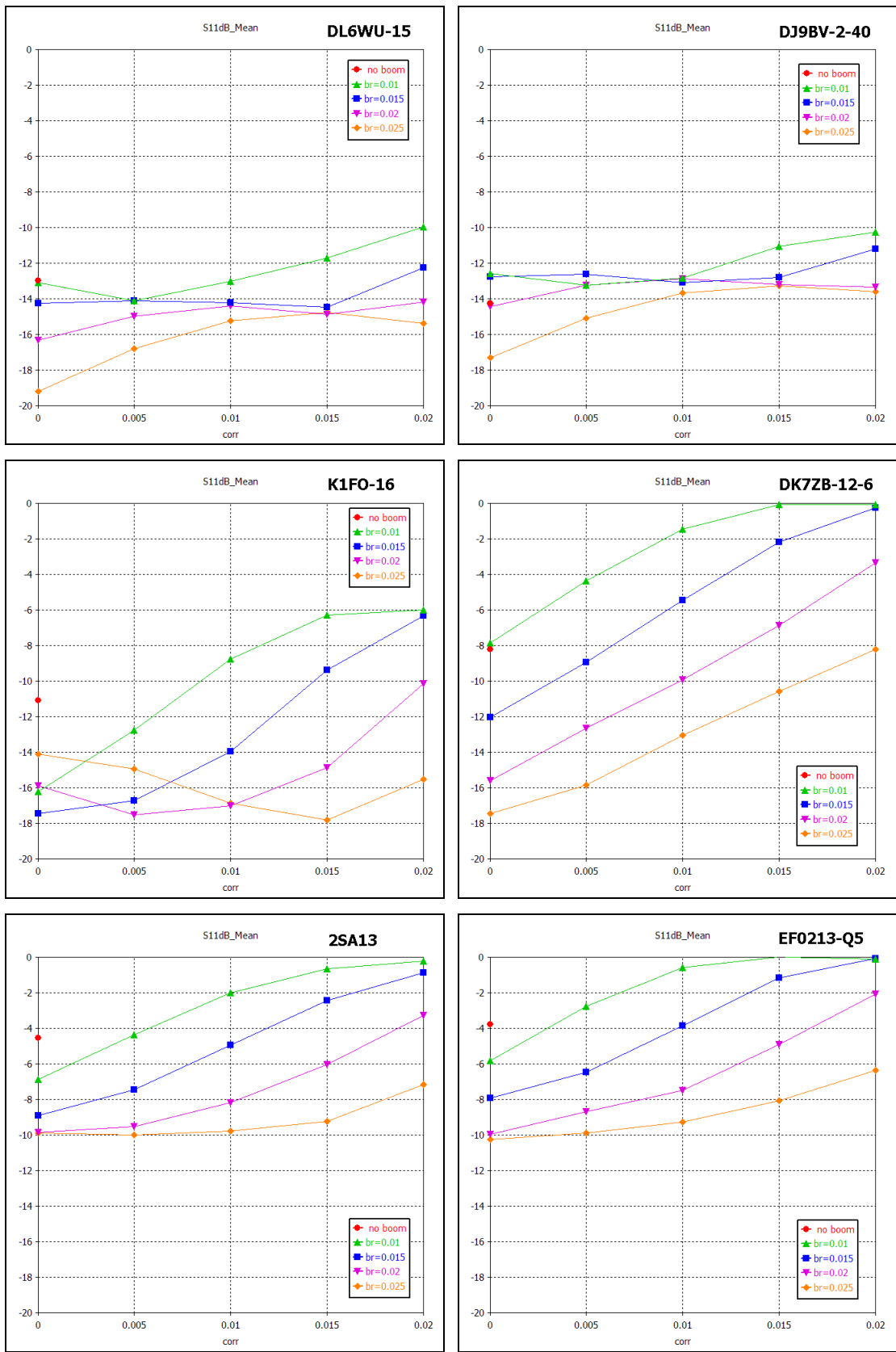
Slično kao i u prethodnim člancima, uticaj nosača i efekti kompenzacije promenom dužine elemenata su posmatrani na sledećim karakteristikama antena:

1. Srednja vrednost ulaznog povratnog slabljenje (S_{11}) u opsegu 144...146 MHz
2. Srednja vrednost širokopojasne direktivnosti u opsegu 144...146 MHz
3. Srednja vrednost Q faktora antene u opsegu 144...146 MHz
4. Dijagrami usmerenosti antene u E i H ravni na frekvenciji 144.5 MHz

Ova simulacija bi trebala da odgovori na pitanje koja je najbolja vrednost za korekciju dužine elemenata i kako se ona menja sa promenom prečnika nosača i tipa antene.

Rezultati simulacije

Prisustvo debelog provodnog nosača u blizini elemenata ima tendenciju da skraćuje efektivnu dužinu elemenata i zbog toga pomera karakteristike antene ka višim frekvencijama. Maksimum ulaznog povratnog slabljenja (minimum SWR-a), maksimum



Sl. 2 Srednja vrednost ulaznog povratnog slabljenja antene u opsegu 144...146 MHz za različite poluprečnike nosača (br) i korekcije dužine elemenata (corr)

direktivnosti i ostale karakteristike antene takođe se pomeraju ka višim frekvencijama. Dijagram zračenja antene se takođe menja na način da sporedni snopovi zračenja kao i zadnji snop menjaju svoju veličinu i ugaonu poziciju u odnosu na glavni snop zračenja.

Veličina uticaja nosača, a time i promena karakteristika antene, zavise od prečnika nosača i neophodno je primeniti različite korekcije dužine elemenata, kao kompenzaciju tih promena, za različite prečnike nosača.

Međutim, uticaji nosača kao i efekti korekcije dužine elemenata na različite karakteristike antena su takođe različiti. Kao rezultat toga moramo da odlučimo koja je karakteristika antene (direktivnost, SWR, radni opseg, dijagram zračenja, itd.) za nas najvažnija i da prema tome izaberemo takvu korekciju dužine elemenata koja će najbolje da kompenzuje uticaje nosača na izabranu karakteristiku antene. Ostale karakteristike antene biće takođe kompenzovane, ali obično u manjem obimu, i za njih bi možda bilo potrebno izabrati neke druge vrednosti korekcije dužine elemenata za optimalnu kompenzaciju.

Ulazno povratno slabljenje

Prezentirani dijagrami na Sl. 2 pokazuju zavisnost prosečne vrednosti ulaznog povratnog slabljenja od primenjene korekcije dužine elemenata (**corr**) za različite poluprečnike nosača (**br**).

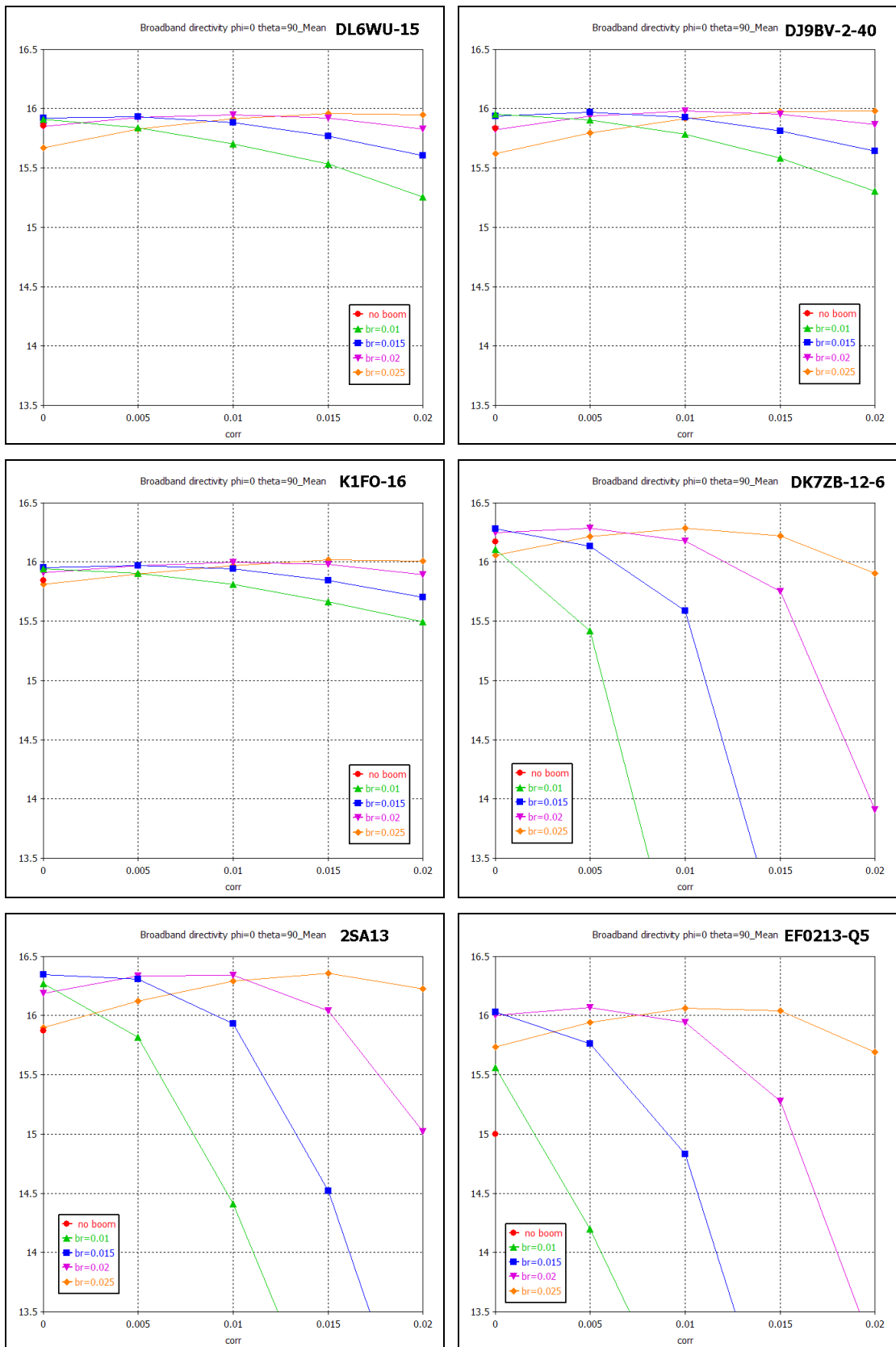
Vidimo da su samo DL6WU i DJ9BV antene skoro potpuno nezavisne od primenjene kompenzacije dužine elemenata i da su zadržale dobro ulazno povratno slabljenje za sve vrednosti poluprečnika nosača i korekcije dužine elemenata. To demonstrira njihov veoma tolerantan dizajn koji je skoro potpuno neosetljiv na ozbiljne uticaje nosača i promene dimenzija elemenata antene.

K1FO antena je takođe pokazala vrlo dobro i očekivano ponašanje pri promeni poluprečnika nosača i neophodnoj korekciji dužine elemenata.

Preostale tri antene, zbog njihovog uskog SWR radnog opsega imaju manje prosečne vrednosti ulaznog povratnog slabljenja. Među njima, DK7ZB antena ima značajno bolje ukupno prosečno povratno slabljenje u odnosu na ostale dve antene.

Antene sa visokim Q faktorom generalno pokazuju relativno manju osetljivost na tačne vrednosti korekcije dužine elemenata samo kada se koriste sa većim prečnicima nosača.

Iz rezultata sa Sl. 2 vidljivo je da antene sa nižim prosečnim Q faktorom imaju manju varijaciju i ukupnu razliku ulaznog povratnog slabljenja zbog promene poluprečnika nosača i primenjene korekcije dužine elemenata u izabranom opsegu 144...146 MHz. Takođe je veoma primetna neosetljivost i tolerantnost antena sa niskim Q faktorom na tačnu vrednost kompenzacije dužine elemenata za odgovarajući poluprečnik nosača.



Sl. 3 Srednja vrednost širokopojasne direktivnosti antene u opsegu 144...146 MHz za različite poluprečnike nosača (br) i korekcije dužine elemenata (corr)

Širokopoljaska direktivnost

Kriva prosečene širokopoljaska direktivnosti antena datih na Sl. 3 prate sličan trend kao i kriva prosečnog ulaznog povratnog slabljenja datih na Sl. 2.

K1FO, DL6WU i DJ9BV antene su pokazale visoku stabilnost širokopoljaska direktivnosti za sve promene poluprečnika nosača i korekcije dužine elemenata. One su sačuvale svoju visoku vrednost prosečne direktivnosti (dobiti) u celom 2 m amaterskom opsegu čak i kada su bile kompenzovane pogrešnim vrednostima korekcije dužine elemenata za dati poluprečnik nosača, ali takođe čak i onda kada uopšte nisu bile kompenzovane!

2SA13 i DK7ZB antene su pokazale malo veću direktivnost (do 0.5 dB) nego ostale antene, ali samo onda kada su bile kompenzovane za optimalnu direktivnost tačnim vrednostima korekcije dužine elemenata za dati poluprečnik nosača. EF0213-Q5 antena pokazala je sličnu direktivnost kao i tri antene sa niskim Q faktorom, ali sa visokom nestabilnošću karakteristika za različite poluprečnike nosača i primenjene korekcije dužine elemenata (Sl. 3).

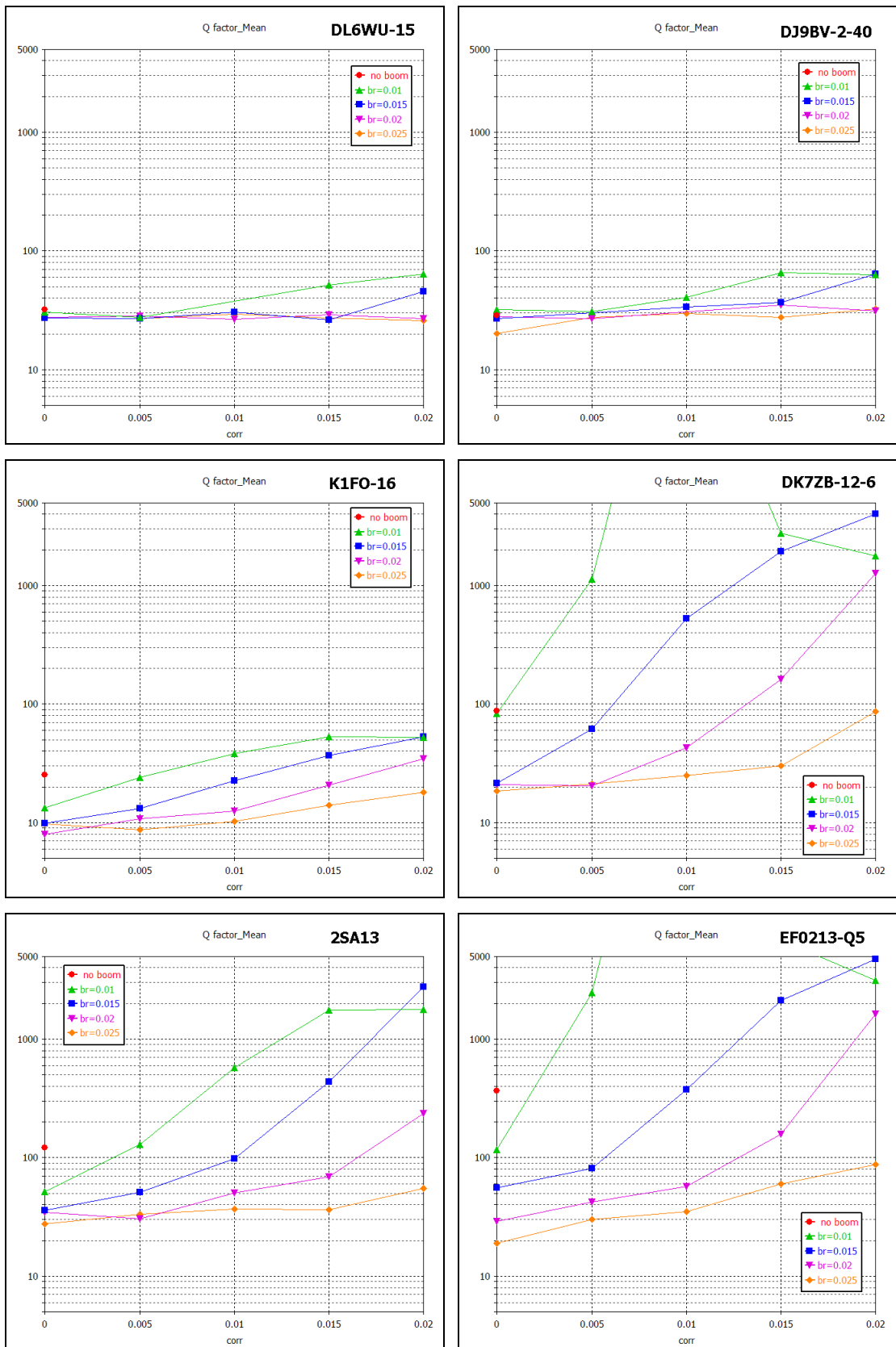
Dijagrami dati na Sl. 3 pokazuju da antene sa visokim prosečnim Q faktorom pokazuju visok stepen varijacije direktivnosti sa različitim korekcijama dužine elemenata kao rezultat njihove veće osetljivosti na dimenzije elemenata i upotrebljenog nosača, kao i užeg radnog opsega.

Q faktor antene

Uticađ nosača, zajedno sa primenjenom korekcijom dužine elemenata, menja sve karakteristike antene i između ostalih menja i Q faktor antene. U našim ranijim istraživanjima zapaženo je da dobar dizajn antene pokazuje svoju stabilnost i tolerantno ponašanje malom promenom Q faktora antene u uslovima nekog spoljašnjeg uticaja. Prema tome, veličina promene Q faktora pri dejstvu nekog spoljašnjeg faktora, uporedo sa promenom ostalih karakteristika, postaje mera stabilnosti karakteristika i tolerantnosti antene, i u saglasnosti sa tom vrednošću moguće je predvideti kako će se verovatno neka antena ponašati u uslovima raznih spoljašnjih uticaja u praktičnom radu [4]. To je potvrđeno mnogo puta do sada, u skoro svim prethodnim simulacijama antena u različitim uslovima spoljašnjih uticaja [1, 2].

Po svemu sudeći **nije dovoljno** da neka antena ima nizak polazni Q faktor u idealizovanim uslovima kompjuterskih simulacija da bi bila smatrana dobrom i tolerantnom antenom. Neophodno je proveriti kako ta antena menja svoj početni Q faktor u uslovima nekog ozbiljnog spoljašnjeg uticaja! Ta razlika u vrednostima Q faktora daje mnogo bolji uvid u kvalitet antene! Dobre antene obično imaju vrlo malu razliku između početnog Q faktora u idealizovanim uslovima kompjuterskih simulacija i Q faktora u uslovima nekog ozbiljnog spoljašnjeg uticaja [4].

Evo ovde ponovo imamo na delu još jednu potvrdu ove činjenice. Antene koje su u ovim istraživanjima pokazale tolerantno ponašanje i koje su sačuvale dobro ulazno prilagođenje i stabilnu visoku prosečnu vrednost direktivnosti pod svim uslovima,



Sl. 4 Srednja vrednost Q faktora antene u opsegu 144...146 MHz za različite poluprečnike nosača (br) i korekcije dužine elemenata (corr)

pokazuju takođe veoma stabilne vrednosti niskog prosečnog Q faktora — a važi i obrnuto.

Kao što je to uočljivo sa dijagrama datih na Sl. 4, DL6WU, DJ9BV i K1FO antene pokazuju stabilan, ravan i nizak prosečan Q faktor koji je u vrlo dobroj saglasnosti sa njihovim prosečnim vrednostima ulaznog povratnog slabljenja i širokopojasne direktivnosti čije su krive date na Sl. 2 i Sl. 3.

Vrlo je interesantno da preostale tri antene imaju relativno ravan i nizak Q faktor samo onda kada koriste nosače vrlo velikog prečnika! Izgleda da nosači velikog prečnika snižavaju njihov Q faktor i proširuju njihove karakteristike širokopojasne direktivnosti i radnog opsega. Možda to ne zvuči suviše neobično ako se zna da su te antene najčešće dizajnirane bez uzimanja u obzir uticaja nosača zbog ograničenja NEC i ostalih MoM baziranih programa za analizu antena [3].

Dijagram antene

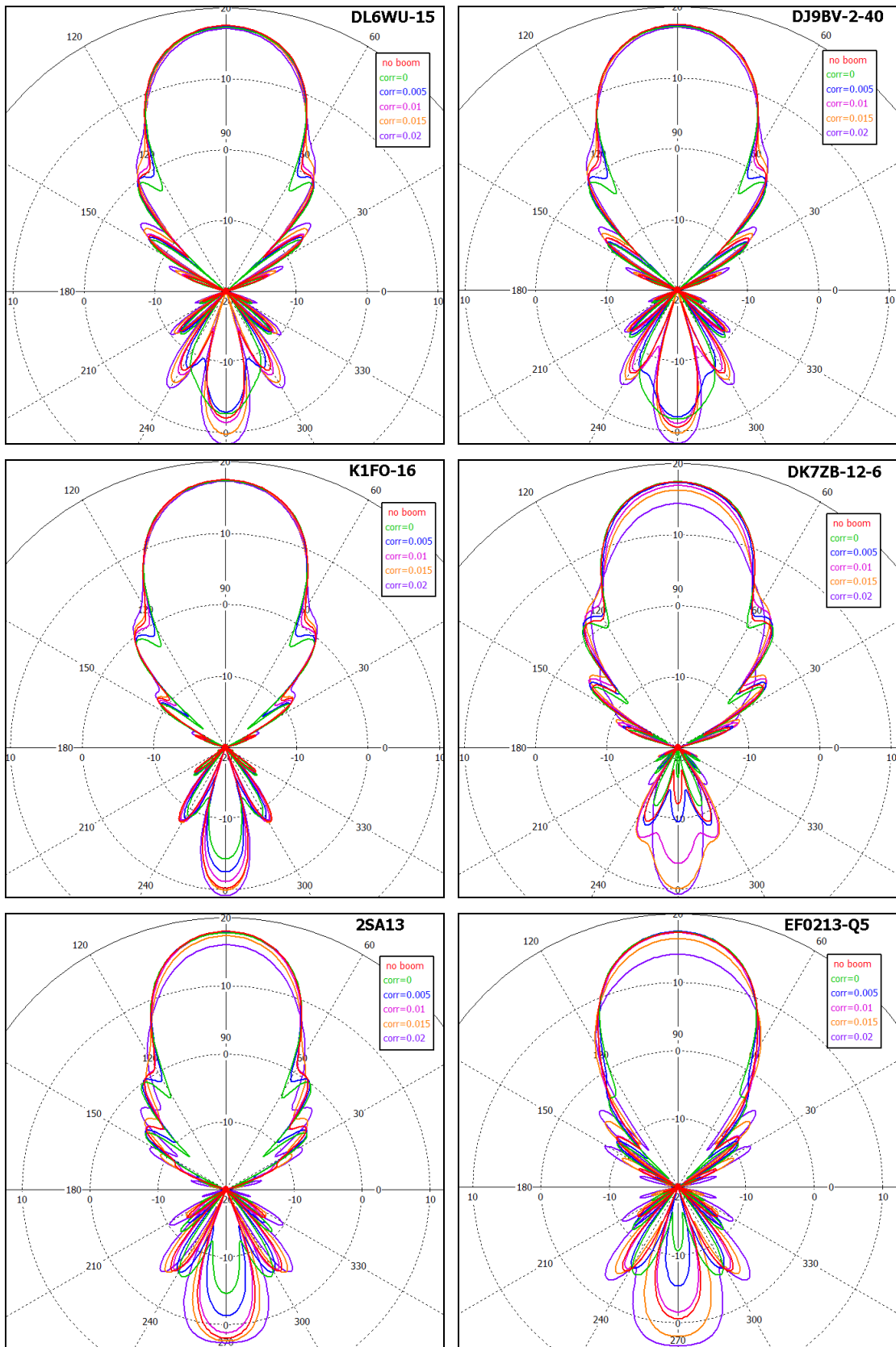
Svi dijagrami su simulirani na frekvenciji 144.5 MHz. Ova frekvencija je izabrana zato što antene sa visokim vrednostima prosečnog Q faktora obično imaju izobličen dijagram na višim frekvencijama. One su obično kompjuterski optimizirane da rade samo u donjem delu amaterskog opsega i time su uslovile ovakav izbor frekvencije.

Zbog ograničenog obima članka, nije bilo moguće prikazati dijagrame zračenja svih šest antena za sve simulirane poluprečnike nosača. Ali kao ilustraciju ponašanja svake pojedine antene sa različitim korekcijama dužine elemenata, odlučili smo da prikazemo samo dijagrame za poluprečnik nosača $br=15$ mm (30 mm prečnik) koji se najčešće koristi za ovu dužinu antene.

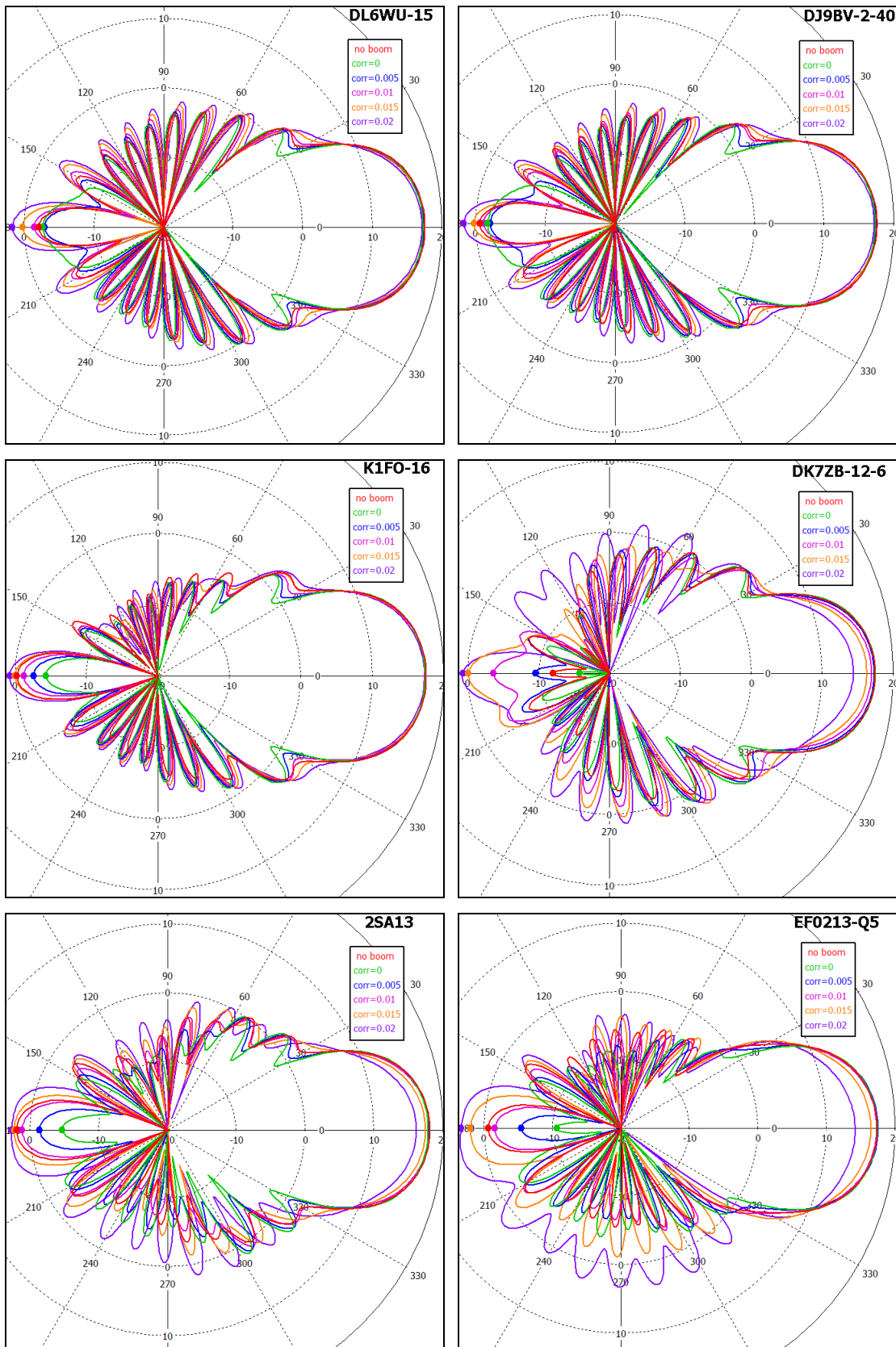
Na prikazanim dijagramima usmerenosti u E i H ravni na Sl. 5 i Sl. 6 vidljivo je da je najveći uticaj metalnog nosača i različitih primenjenih korekcija dužine elementa na ugaonu poziciju i veličinu prvog para sporednih snopova i zadnjeg snopa. Antene sa niskim vrednostima prosečnog Q faktora pokazuju mnogo stabilniju ugaonu poziciju i veličinu promene sporednih snopova u obe ravni. Promena veličine zadnjeg snopa sa promenom vrednosti korekcije dužine elemenata usled nosača je takođe manja za antene sa nižim prosečnim Q faktorom.

Kompenzacija uticaja nosača

Ponašanje sagrađene antene zavisi od različitih mehaničkih rešenja koja su korišćena za montažu elemenata na nosač. Takođe postoji veoma velika zavisnost parametara antene od toga da li je antena sagrađena na električno provodnom ili neprovodnom nosaču. Antene različitih konstrukcija ponašaju se različito pod istim uslovima okoline zavisno od njihovog Q faktora, tj. podložnosti na promene karakteristika usled interakcije sa okolnim predmetima.



Sl. 5 Dijagrami zračenja za svih šest antena u E ravni na 144.5 MHz, za poluprečnik nosača $br=15$ mm u zavisnosti od korekcije dužine elemenata ($corr$)



Sl. 5 Dijagrami zračenja za svih šest antena u H ravni na 144.5 MHz, za poluprečnik nosača $br=15$ mm u zavisnosti od korekcije dužine elemenata ($corr$)

Međutim, sa elementima koji neizolovano prolaze kroz metalni nosač imamo najveću moguću interakciju između elemenata i nosača. Zbog ovoga, najveći mogući uticaj nosača na stabilnost karakteristika antene je i najbolje vidljiv!

Optimalna kompenzacija uticaja različitih poluprečnika nosača pomoću korekcije dužine elemenata za tri najvažnije karakteristike antene: maksimum širokopojasne direktivnosti (*Direktivnost*), minimum Q faktora (*Q faktor*), i maksimum ulaznog povratnog slabljenja (*Prilagođenje*) u celom opsegu 144...146 MHz za svih šest antena sumirana je u Tabeli 1. Vrednosti označene kao „*zajedničke*“ su one koje su zajedničke i zadovoljavaju optimalnu kompenzaciju svih parametara u isto vreme.

Tabela 1

Antena	Optimalna korekcija dužine elemenata za upotrebljeni poluprečnik nosača [mm]				
	Karakteristika	10	15	20	25
DL6WU-16	Prilagođenje	0-15	0-15	0-20	0-20
	Direktivnost	0-5	5-10	10-15	15-20
	Q faktor	0-10	5-15	10-20	10-20
	zajedničke	0-5	5-10	10-15	15-20
DJ9BV-2-40	Prilagođenje	0-10	0-15	0-20	0-20
	Direktivnost	0-5	5-10	10-15	15-20
	Q faktor	0-10	5-15	10-20	10-20
	zajedničke	0-5	5-10	10-15	15-20
K1FO-16	Prilagođenje	0-5	0-10	5-15	10-20
	Direktivnost	0-10	0-10	10-15	15-20
	Q faktor	0-5	0-10	0-10	0-20
	zajedničke	0-5	0-10	10	15-20
DK7ZB-12-6	Prilagođenje	0	0	0-5	0-10
	BD	0	0-5	5-10	10-15
	Q faktor	0	0-5	0-10	0-10
	zajedničke	0	0	5	10
2SA13	Prilagođenje	0	0	0-5	0-10
	Direktivnost	0-5	0-5	0-10	10-15
	Q faktor	0	0	0-5	0-10
	zajedničke	0	0	0-5	10
EF0213-Q5	Prilagođenje	0	0	0-5	0-10
	Direktivnost	0	0-5	5-10	10-15
	Q faktor	0	0	0-5	0-10
	zajedničke	0	0	5	10

Zaključak

U ovom radu smo prezentirali rezultate simulacija i analiza uticaja metalnog nosača različitih poluprečnika na antenu kada elementi prolaze kroz njega neizolovano. Takva

montaža elemenata proizvodi najveći mogući uticaj nosača tako da se „odgovor“ antene na taj „udarac“ i (ne)stabilnost njenih karakteristika najbolje ispoljavaju.

Međusobno su upoređivani uticaji različitih prečnika nosača kao i različitih vrednosti korekcije dužine elemenata na ulazno povratno slabljenje, širokopojasnu direktivnost, Q faktor i dijagram zračenja antene za različite tipove antena. Ustanovljena je vrlo dobra korelacija između prosečne vrednosti Q faktora antene i tih uticaja.

Još jedanput je potvrđeno da Q faktor antene predstavlja važan parametar koji određuje podložnost antene uticajima nosača, ali takođe određuje i opseg delovanja korekcije dužine elemenata i njegove efekte!

Očigledno je da korekcija dužine elemenata Yagi antene veoma mnogo zavisi od njenog dizajna, tj. vrednosti prosečnog Q faktora i da **nije ista** za sve tipove Yagi antena kao što se do sada verovalo! Iz rezultata sumiranih u Tabeli 1 jasno je da je, za antene sa niskim Q faktorom, čiji elementi prolaze neizolovano kroz metalni nosač, korekcija dužine elemenata prema usvojenom „empirijskom pravilu“ od oko 25-45% od prečnika nosača sasvim tačna.

Antene dizajnirane od strane DL6WU, DJ9BV i K1FO slede to pravilo sa prilično velikom tačnošću. Povrh toga, one su vrlo tolerantne na tačnu vrednost korekcije dužine elemenata i čak pogrešna vrednost korekcije dužine elemenata neće napraviti veliku štetu karakteristikama antene!

Antene s visokim Q faktorom zahtevaju mnogo manju vrednost korekcije dužine elemenata koja je oko **2-3 puta manja** od korekcije za antene sa niskim Q faktorom! Pored toga one nisu tako tolerantne i zahtevaju da budu primenjene sasvim precizno određene vrednosti korekcije dužine elemenata da bi se ostvarile optimalne kompenzacije karakteristika antene. Iz rezultata datih u Tabeli 1 možemo videti da korišćenje usvojenog „empirijskog pravila“ za vrednosti korekcije dužine elemenata kod antena sa visokim Q faktorom najčešće daju kompenzaciju karakteristika antene koja nije optimalna!

Čini nam se da neke antene sa visokim Q faktorom moraju da plate dosta visoku cenu za ono što za uzvrat daju - malo veću direktivnost, od najviše 0.5 dB, čija je praktična mogućnost realizacije problematična zbog velike osetljivosti na okolinu . ☺

Reference:

1. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Boom Distance Influence on Yagi Antenna**, *antenneX*, August 2009, Issue No. 148. *Prevedeno na srpski jezik*: Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Uticaj odstojanja nosača na Yagi antenu**, http://www.yu1aw.ba-karlsruhe.de/Uticaj_odstoj_nosaca_na_yagi.pdf
2. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Boom Radius Influence on Yagi Antenna**, *antenneX*, June 2009, Issue No. 146. *Prevedeno na srpski jezik*: Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Uticaj prečnika nosača na Yagi antenu**, http://www.yu1aw.ba-karlsruhe.de/Uticaj_precnika_nosaca_na_Yagi_antenu.pdf

3. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Boom Influence on Yagi Antenna**, *antenneX*, May 2009, Issue No. 145. *Prevedeno na srpski jezik*: Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Uticaj nosača na Yagi antenu**, <http://www.yu1aw.ba-karlsruhe.de/Uticaj%20nosaca%20na%20Yagi%20antenu.pdf>
4. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Yagi Antenna Design Sensitivity in Practice**, *antenneX*, November 2008, Issue No. 139. *Prevedeno na srpski jezik*: Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Osetljivost Yagi antena u praksi**, <http://www.yu1aw.ba-karlsruhe.de/Osetljivost%20Yagi%20antena%20u%20praksi.pdf>
5. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Yagi Antenna Q factor**, *antenneX*, July 2008, Issue No. 135.

(Članak je preveden iz časopisa *antenneX*, Decembar 2009.)