

# Uticaj koaksijalnog kabla na Yagi Antenu - 2. deo

Dragoslav Dobričić, YUIAW

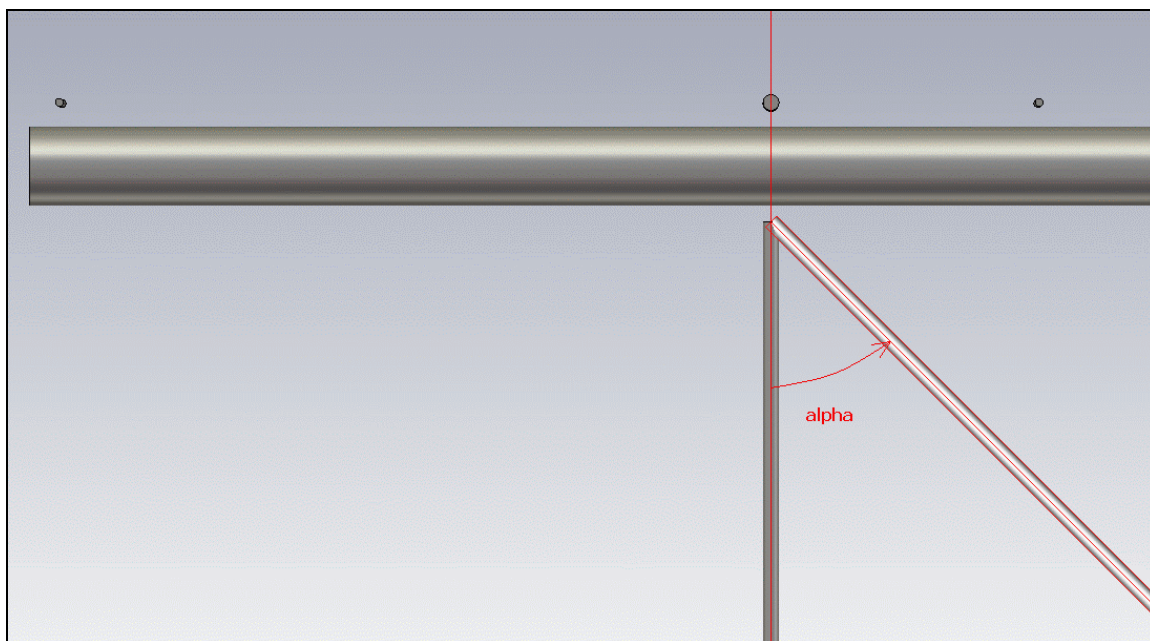
[dragan@antennex.com](mailto:dragan@antennex.com)

## Uvod

U prvom delu ovog članka [1] prezentirali smo rezultate istraživanja kako koaksijalni kabl kojim se napaja antena utiče na karakteristike antene u situaciji kada je postignuta minimalna interakcija između antene i kabla. Istraživanje je sprovedeno pomoću kompjuterskih simulacija šest različitih antena pod jednakim uslovima.

Rezultati su pokazali visok stepen zavisnosti uticaja od ugla *alfa* pod kojim kabl prilazi aktivnom dipolu antene. Ovo se dogodilo i pored toga što je prilazni ugao *alfa* uvek ležao u ravni simetrije antene kako bi se održala minimalna interakcija između kabla i antene.

Koaksijalni kabl je bio postavljen tako da nije u električnom spoju sa antenom da bi se modeliralo napajanje antene preko idealnog 1:1 baluna koji predstavlja beskonačno veliku impedansu za „common mode“ struje. Uzete su obzir samo struje indukovane bliskim RF poljem antene. Koristili smo ovakvo idealno napajanje sa beskonačnom impedansom za „common mode“ struje kao i pozicioniranje kabla tako da uvek leži u ravni simetrije antene namerno, kako bismo dobili rezultate za minimalnu moguću interakciju i međusobni uticaj. Čak i pod tim idealizovanim uslovima i u odsustvu bilo kakvih drugih spoljašnjih uticaja sredine, rezultati simulacija su pokazali značajnu degradaciju karakteristika pojedinih antena, uglavnom onih sa višim Q faktorom.



Sl. 1. Yagi antena sa koaksijalnim kablom i načinom kako je definisan prilazni ugao alfa

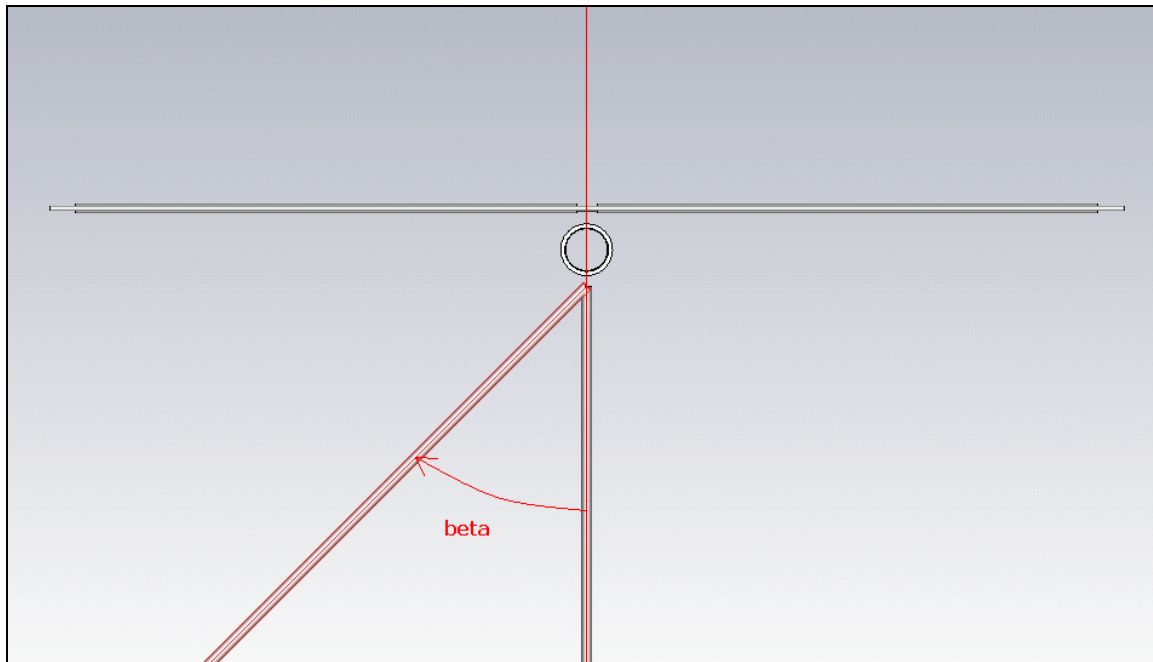
Korišćenjem realnog baluna koji nema beskonačnu impedansu za „common mode“ struje, ili napajanjem antene bez baluna, kao i vođenjem kabla koji ne leži uvek u ravni simetrije antene, možemo očekivati mnogo veći stepen uticaja i degradacije karakteristika antene.

## Uticaj kabla koji ne leži u ravni simetrije antene

U praksi vrlo često koaksijalni kabl ne leži u ravni simetrije, čak i onda kada se napaja samo jedna antena ili više vertikalno složenih antena u sistem. U situacijama kada koristimo horizontalno složene antene u sistem, jednostavno nije moguće imati kabl koji uvek leži u vertikalnoj ravni simetrije antene.

Sproveli smo istraživanje kako koaksijalni kabl utiče na karakteristike antene kada ne leži u ravni simetrije antene, kao što se obično koristi kada napajamo dve horizontalno postavljene spregnute antene ili četiri antene postavljene dve iznad dve, ili iz bilo kog drugog razloga koji zavisi od zahteva mehaničkog rešenja noseće konstrukcije antenskog sistema. U toj situaciji, kabl ne leži u ravni simetrije antene, i prilazi aktivnom dipolu antene pod nekim uglom *beta* koji leži u ravni normalnoj na ravan simetrije antene. Kombinacijom različitih vrednosti za uglove *alfa* i *beta*, možemo da postavimo koaksijalni kabl u različite pozicije u odnosu na položaj Yagi antene. U tom slučaju, poništavanje nekih efekata je prisutno u manjem stepenu i možemo da očekujemo veći uticaj nego u situaciji kada kabl leži tačno u ravni simetrije antene ( $\beta = 0$  st.).

U ovom istraživanju ispitali smo kako napojni koaksijalni kabl utiče na karakteristike antene kada prilazi aktivnom elementu pojedinačne Yagi antene iz različitih pravaca koji ne leže u vertikalnoj ravni simetrije antene.



Sl. 2. Yagi antena sa koaksijalnim kablom i načinom kako je definisan prilazni ugao *beta*

## Uslovi pod kojima su vršene simulacije

Svih šest Yagi antena su simulirane pod jednakim uslovima. Provodni okrugli nosač u vidu cevi prečnika 50 mm postavljen je ispod elemenata tako da rastojanje između ose nosača i ose elemenata iznosi 40 mm. To predstavlja prilično dobar prikaz simulacije Yagi antene sa izolovanim elementima od nosača, koji su montirani na nosač pomoću

plastičnih izolatora sa vrlo malom relativnom dielektričnom konstantom i na visini od 15 mm iznad gornje površine nosača. Yagi antena sa tim nosačem i elementima postavljenim horizontalno je napajana sa koaksijalnim kablom određenog prečnika koji dolazi odozdo vertikalno naviše ka zračećem elementu.

U početku, koaksijalni kabl je pod pravim uglom u odnosu na osu nosača i osu elemenata i leži u vertikalnoj ravni simetrije antene. To je početna referentna pozicija. Zatim su u odnosu na tu poziciju definisani uglovi pravca prilaza koaksijalnog kabla *alfa* i *beta* kao što je dato na Sl. 1 i Sl. 2. Ugao *alfa* je definisan na isti način kao u prethodnom članku i on leži u ravni simetrije antene. Dodat je drugi ugao *beta* koji leži u ravni koja je normalna na osu nosača. Zadavanjem različitih vrednosti za ta dva ugla moguće je postavljanje kabla u bilo koji položaj u odnosu na antenu.

Koaksijalni vod je 10 mm u prečniku, 3m dugačak i njegov gornji kraj se nalazi u blizini donje površine nosača ali je ne dodiruje (Sl. 1 i 2). Oba kraja spoljašnjeg provodnika koaksijalnog kabla ostavljena su nepovezana, tako da oni u električnom smislu „lebde“. RF izvor je postavljen i spojen za krakove u sredini izolacionog procepa otvorenog dipola. Dužina koaksijalnog kabla je bila ograničena isključivo obimom neophodnih kompjuterskih proračuna.

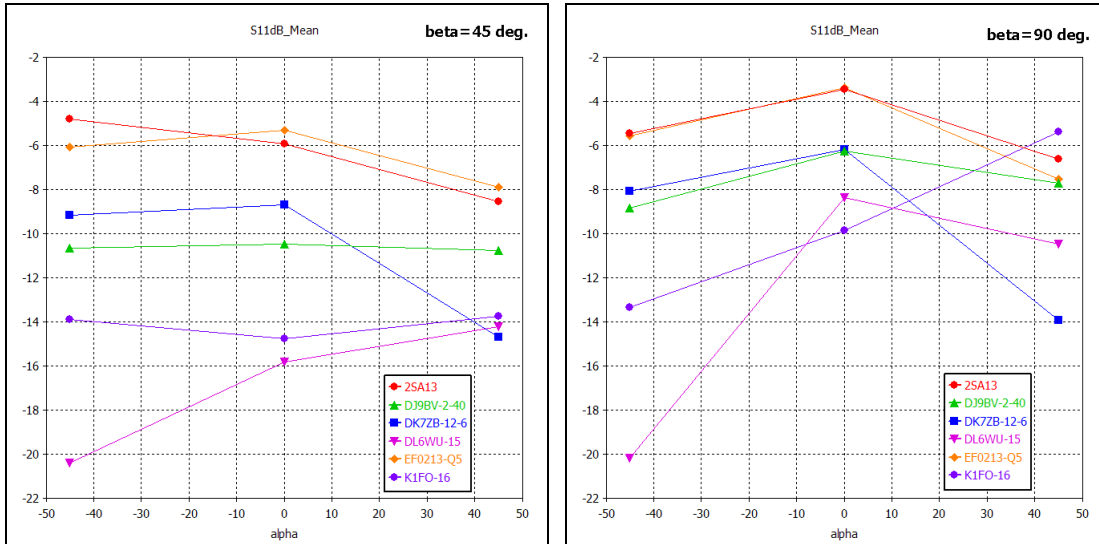
Na ovaj način je predstavljena simulacija antene napajane koaksijalnim kablom preko veoma dobrog 1:1 baluna koji predstavlja vrlo visoku impedansu za „common mode“ struje koje teku po spoljašnjoj površini spoljašnjeg provodnika koaksijalnog kabla. Ovakav aranžman daje dobre mogućnosti da se istraži uticaj koaksijalnog kabla na Yagi antenu samo usled indukovanih struja koje teku po spoljašnjoj površini koaksijalnog kabla kao posledica bliskog elektromagnetnog polja antene.

U prethodnom članku videli smo da je međusobni uticaj antene i koaksijalnog kabla koji leži u ravni simetrije antene minimalan zbog međusobnog poništavanja indukovanih struja na spoljašnjoj površini spoljašnjeg provodnika koaksijalnog kabla. Ali uvođenjem ugla *beta*, moguće je postaviti kabl izvan ravni simetrije antene i videti koliki će tada biti uticaji.

Uslovi pod kojima su vršene simulacije su vrlo slični praktičnoj situaciji kada je samo jedna antena postavljena na vrh visokog i tankog stuba, ali kada koaksijalni kabl prilazi aktivnom elementu antene iz pravca koji ne leže u ravni simetrije antene. Ova simulacija bi trebala, zajedno sa prethodnom [1] da pruži odgovor na pitanje na koji način je najbolje voditi koaksijalni kabl u odnosu na stub, nosač antene i druge moguće noseće strukture antene i koliko su različite antene osetljive na to.

Za ovaj posao opet je korišćen profesionalni program za simulaciju antena baziran na FIT metodi umesto uobičajenih MoM baziranih programa koji su se već ranije pokazali neodgovarajući zbog nekoliko neprihvatljivih programskih ograničenja [2]. Slično kao i u prethodnom članku, uticaj kabla je posmatran na sledećim karakteristikama antena u zavisnosti od veličine ugla *alfa* i *beta* pod kojim koaksijalni kabl prilazi anteni u odnosu na početni vertikalni položaj koaksijalnog kabla (Sl. 1 i 2):

1. Srednja vrednost ulaznog povratnog slabljenja (S11) u opsegu 144...146 MHz
2. Srednja vrednost širokopojasne usmerenosti u opsegu 144...146 MHz
3. Srednja vrednost Q faktora antene u opsegu 144...146 MHz
4. Dijagram usmerenosti antene u E i H ravni na frekvenciji 144.5 MHz



Sl. 3. Srednja vrednost ulaznog povratnog slabljenja u opsegu 144...146 MHz za različite uglove alfa i beta

### Uticaj na ulazno povratno slabljenje

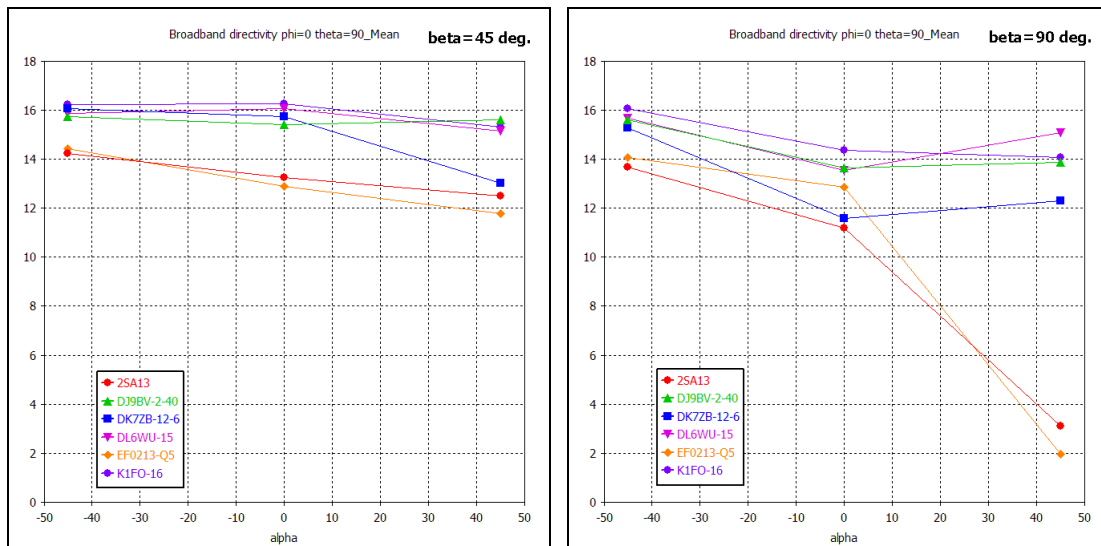
Očekivan je nešto veći uticaj koaksijalnog kabla na ulazno povratno slabljenje i SWR antene zbog takve pozicije kabla koja ne proizvodi minimalnu interakciju između antene i kabla kao u prethodnom članku [1]. Sprovedene simulacije su dale jasnu potvrdu da prisustvo i položaj napojnog koaksijalnog kabla, koji leži van ravni simetrije antene, proizvodi mnogo značajne promene ulazne impedanse antene, posebno kada ugao  $\beta$  ima vrednost 90 stepeni. (Sl. 3).

Iz priloženih dijagrama na Sl. 3, vidljivo je da je za sve antene, osim K1FO antene, pri poziciji kabla pod uglovima  $\alpha = 0$  i  $\beta = 90$  stepeni, tj. kada kabl prilazi anteni uz aktivni element i paralelno sa njim, ulazno povratno slabljenje najlošije. Za K1FO antenu najlošija situacija je kada kabl prilazi sprema pod uglom od  $\alpha = 45$  stepeni i paralelno sa ravni u kojoj leže elementi antene, tj.  $\beta = 90$  stepeni.

Generalno, za ugao  $\beta = 45$  stepeni, antene sa nižim Q faktorom ostaju sa sličnom ili nešto malo većom degradacijom karakteristika nego u prethodnom članku gde je postignut minimalni međusobni uticaj između kabla i antene. Antene sa višim Q faktorom trpe veliku degradaciju karakteristika, ali paradoksalno nešto malo manju nego u prethodnom članku.

Za ugao  $\beta = 90$  stepeni sve antene trpe mnogo veću degradaciju ulaznog povratnog slabljenja, osim 2SA13 antene koja ima čak nešto malo veću degradaciju sa vertikalnom, početnom pozicijom kabla ( $\alpha = 0$  i  $\beta = 0$  st.) kao što se može videti iz dijagrama u prethodnom članku [1].

Takođe je vrlo interesantno da vrednost ulaznog povratnog slabljenja za kabl koji dolazi sa zadnje strane pod uglom  $\alpha = -45$  stepeni ostaje skoro nepromenjena za sve antene i za obe veličine ugla  $\beta = 45$  i  $\beta = 90$  stepeni.



Sl. 4. Srednja vrednost širokopojasne direktivnosti u opsegu 144...146 MHz za različite uglove alfa i beta

### Uticaj na širokopojasnu usmerenost

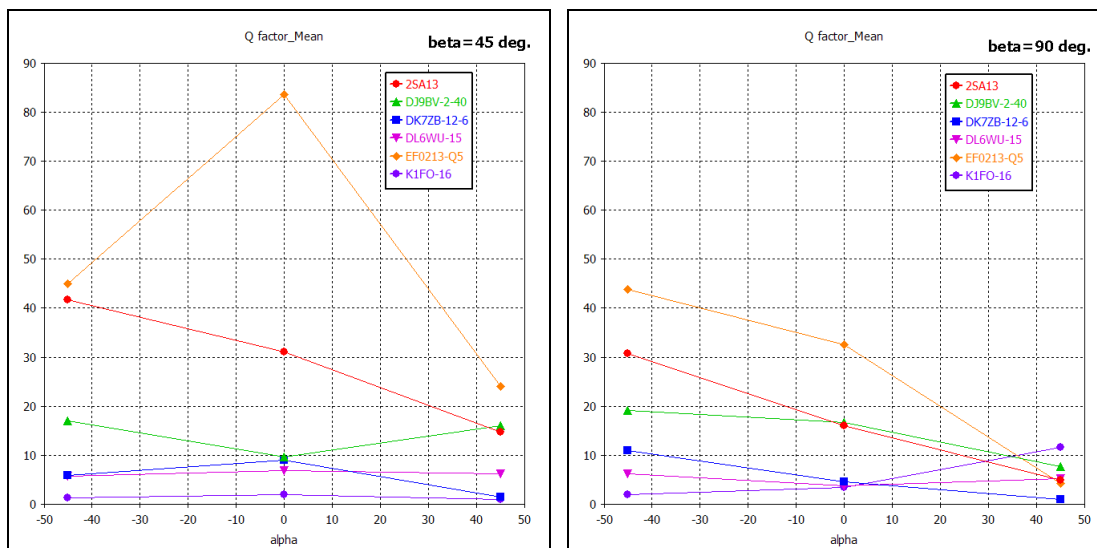
Kao što smo pomenuli u prethodnom članku [1], krive širokopojasne usmerenosti se pomeraju po frekvenciji pod uticajem prisustva i položaja koaksijalnog napojnog kabla slično kao pod uticajem provodnog nosača ili vlage na elementima [3, 4]. Antene sa višim Q faktorom imaju uže krive širokopojasne usmerenosti i, zbog veće osetljivosti na spoljašnje uticaje sredine, njihove krive se pomeraju više. Kao rezultat većeg frekvencijskog pomeranja krivih usmerenosti, one imaju značajno veću promenu srednje vrednosti usmerenosti u radio-amaterskom opsegu.

Generalno, uticaj kabla na srednju vrednost širokopojasne usmerenosti antena je veći nego u prethodnom članku i to je u skladu sa uticajem na srednju vrednost ulaznog povratnog slabljenja. Najmanja degradacija za sve antene, a naročito za one sa višim Q faktorom, je kada kabl prilazi anteni sa zadnje strane ( $\alpha = -45$  st.).

Međutim, za antene sa nižim Q faktorom bilo koja pozicija kabla pod uglom  $\beta = 45$  stepeni je skoro ista i te antene trpe veoma male uticaje zbog prisustva kabla i njegove pozicije u odnosu na antenu, slično kao i u prethodnom članku.

Prikazani dijagrami na Sl. 4 jasno pokazuju mnogo manju osetljivost i degradaciju usmerenosti antena sa nižim Q faktorom za sve prilazne uglove kabla. Ovo je naročito uočljivo u uslovima kada kabl leži u istoj ravni kao i antena ( $\beta = 90$  st.) što može dovesti do vrlo ozbiljne degradacije direktivnosti antena sa visokim Q faktorom.

Ovde je takođe primetno da, kao i kod povratnog slabljenja, srednja vrednost širokopojasne usmerenosti svih antena, kada kabl prilazi anteni sa zadnje strane pod uglom  $\alpha = -45$  stepeni, ostaje skoro nepromenjena za obe vrednosti ugla  $\beta$ .



Sl. 5. Srednja vrednost  $Q$  faktora antene u opsegu 144...146 MHz za različite uglove alfa i beta

### Uticaj na $Q$ faktor antene

Promena vrednosti  $Q$  faktora antene takođe sledi istu zakonitost kao ulazno povratno slabljenje i usmerenost antene. Antene sa višim  $Q$  faktorom trpe mnogo značajnije povećanje  $Q$  faktora zbog prisustva i položaja kabla nego antene sa nižim  $Q$  faktorom (Sl. 5). Ovo je vrlo slično promeni  $Q$  faktora antene usled uticaja vlage na njenim elementima kao što smo već ranije ustanovili i opisali u ranijim člancima [3, 4].

Međutim, ovde je takođe uočljivo da je koaksijalni kabl postao značajan deo zračeće strukture antene. Pored vrlo ozbiljne degradacije dijagrama usmerenosti antene, zračenje koaksijalnog kabla takođe menja ulaznu impedansu antene i značajno povećava otpornost zračenja i otpornost gubitaka. Svi ovi faktori zajedno menjaju  $Q$  faktor antene.

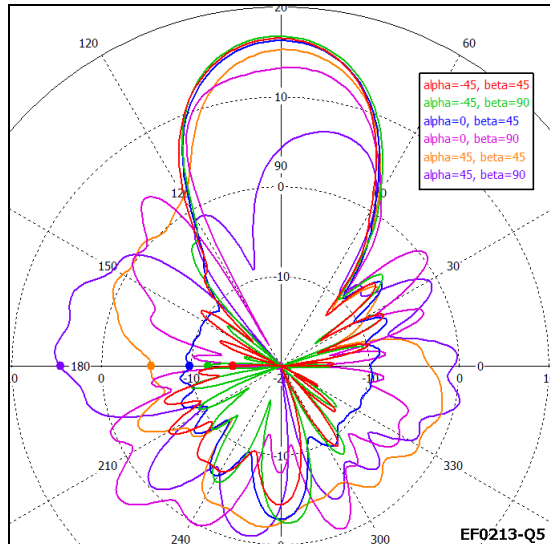
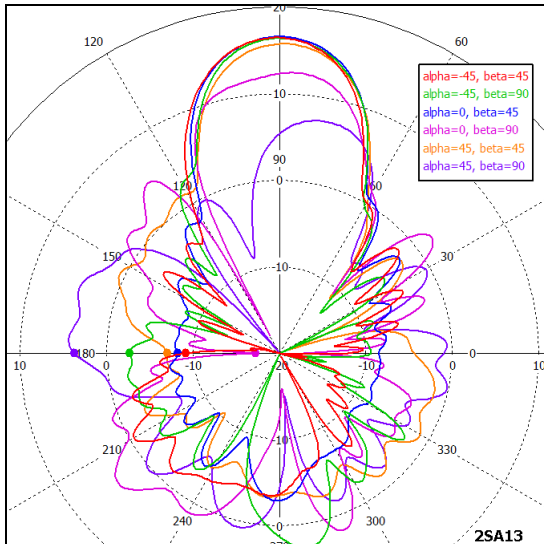
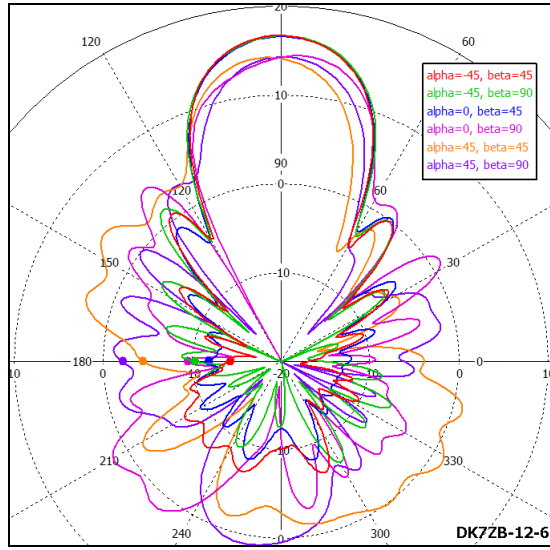
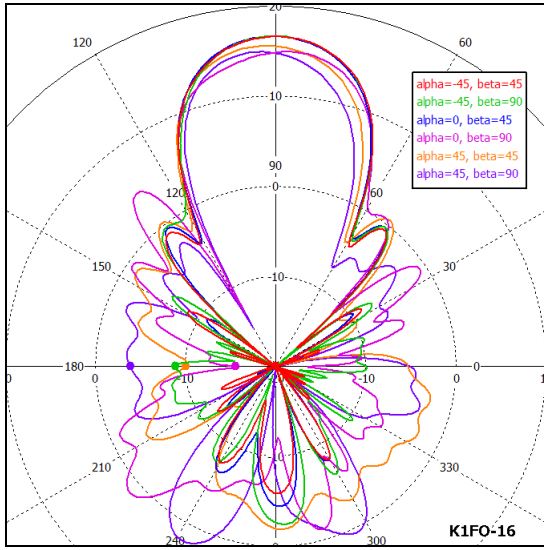
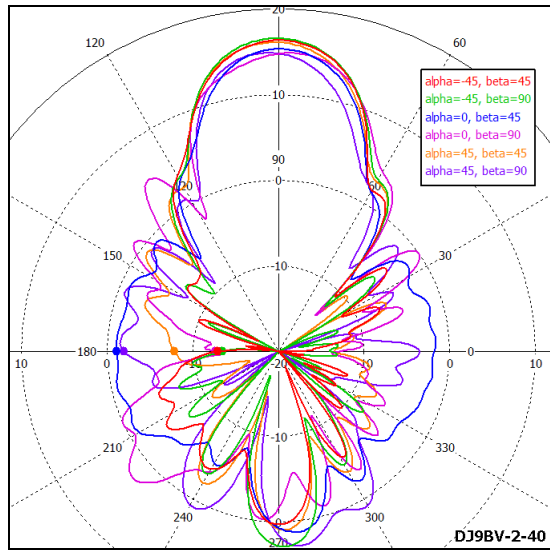
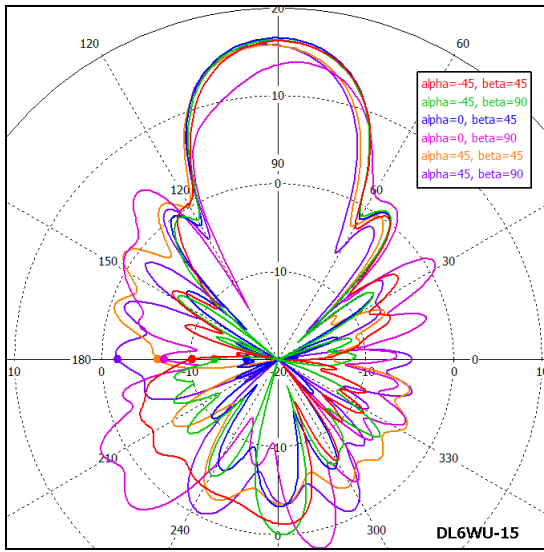
### Uticaj na dijagram usmerenosti antene

Dijagrami usmerenosti u E i H ravni za svih šest antena u zavisnosti od uglova  $\alpha$  i  $\beta$  pod kojim kabl prilazi dipolu dati su na Sl. 6 i Sl. 7.

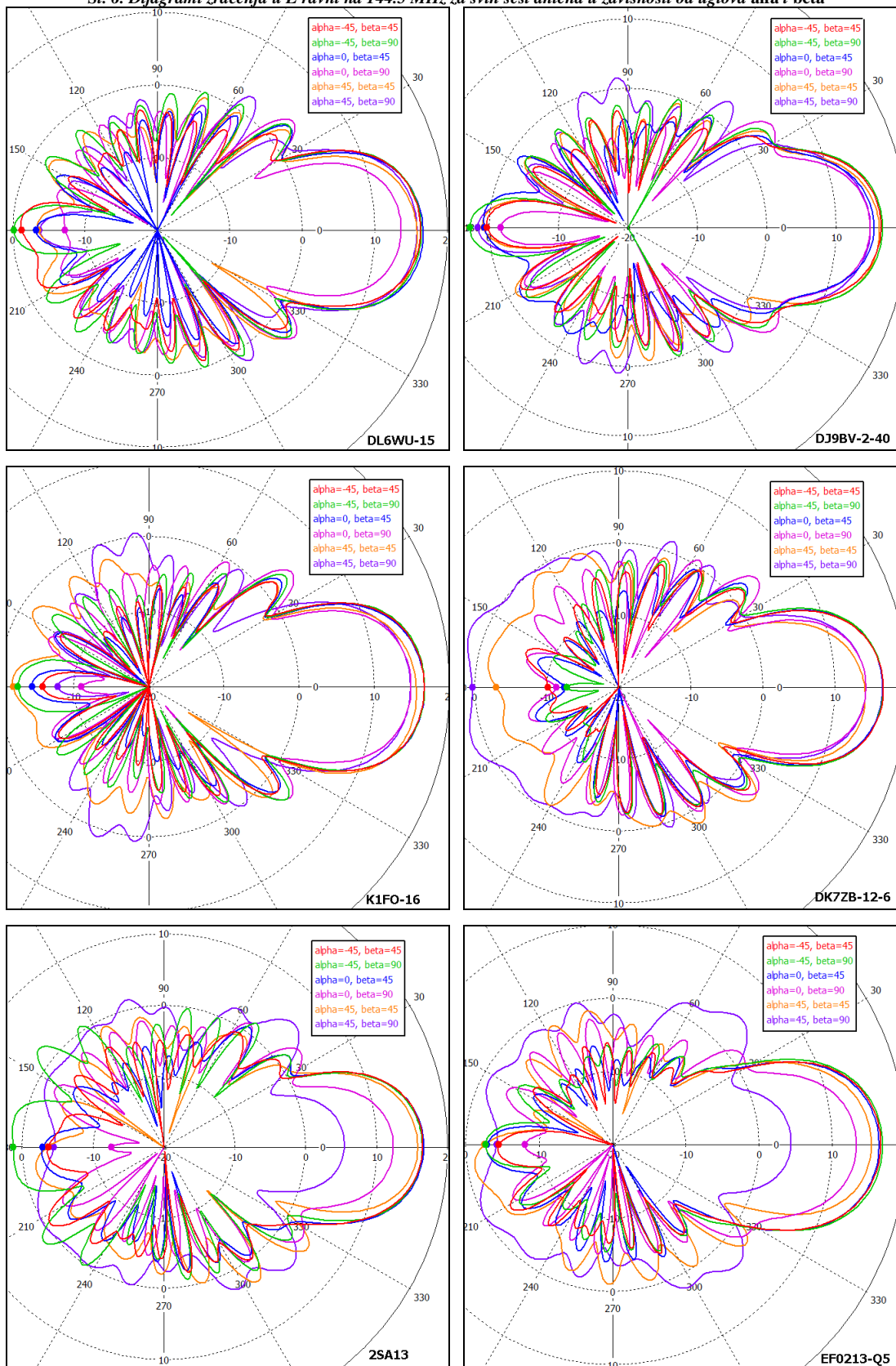
Zbog značajnog uticaja i zračenja koaksijalnog napojnog kabla, dijagrami usmerenosti antena u obe ravni su veoma izobličeni. Prilaz kabla sa zadnje strane antene pod uglom  $\alpha = -45$  stepeni generalno pokazuje najmanje izobličenje dijagrama. Međutim, očigledno je da svaka antena ima neki položaj kabla koji je njena „Ahilova peta“. Sa druge strane pak, intenzitet i način narušavanja dijagrama usmerenosti veoma zavisi od tipa antene.

Kao što se može videti sa priloženih dijagrama usmerenosti, antene sa nižim  $Q$  faktorom obično pretrpe manje narušavanje i izobličenje dijagrama usmerenosti usled prisustva koaksijalnog napojnog kabla i njegovih različitih položaja u odnosu na antenu, zbog njihove manje osetljivosti na uticaje okoline.





Sl. 6. Dijagrami zračenja u E ravni na 144.5 MHz za svih šest antena u zavisnosti od uglova alfa i beta



Sl. 7. Dijagrami zračenja u H ravni na 144.5 MHz za svih šest antena u zavisnosti od uglova alfa i beta



## Zaključak

U ovom članku prezentirali smo rezultate istraživanja kako koaksijalni napojni kabl, koji ne leži u ravni simetrije antene, utiče na karakteristike antene. Istraživanja su provedena pomoću kompjuterskih simulacija šest antena pod istim uslovima. Koaksijalni kabl je postavljen tako da predstavlja beskonačnu impedansu za „common mode“ struje. Samo struje indukovane bliskim elektromagnetnim poljem antene su uzete u obzir.

Rezultati pokazuju visok stepen zavisnosti od položaja kabla, tj. uglova *alfa* i *beta* pod kojim kabl dolazi do aktivnog zračećeg elementa antene. Prilazni ugao kabla *beta* je izabran tako da kabl uvek leži van ravni simetrije antene kako bi se omogućio potpuni međusobni uticaj između kabla i antene.

Prikazani rezultati sada mogu da daju odgovore na pitanja koja su postavljena na početku prethodnog članka a odnose se na uticaje kabla na karakteristike antene same na stubu.

Ako već moramo da vodimo kabl van ravni simetrije antene onda nam rezultati ovih simulacija jasno pokazuju da je bolje voditi kabl od aktivnog dipola pod uglom  $\alpha = -45$  stepeni u odnosu na smer zračenja antene. Takođe, ustanovljeno je da je najbolji položaj kabla koji proizvodi najmanji uticaj na karakteristike antene praktično isti skoro za sve tipove antena, mada se veličina tog uticaja razlikuje od antene do antene.

Ove simulacije su nedvosmisleno potvrdile da antene sa nižim Q faktorom u svim uslovima imaju manju degradaciju karakteristika.

Korišćenjem realnog baluna, ili napajanjem antene bez baluna, kao što je to slučaj u svakodnevnoj praksi, možemo očekivati mnogo viši stepen uticaja i degradacije karakteristika antene.

Svi ovi uticaji na najvažnije osobine antene na očigledan način ilustruju verovatno ponašanje i osetljivost antene na spoljašnje uticaje okoline u praktičnim radnim uslovima.

## Reference:

1. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Coaxial Cable Feeder Influence on Yagi Antenna**, *antenneX*, September 2009, Issue No. 149. *Prevedeno na srpski jezik:* Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Uticaj koaksijalnog kabla na Yagi antenu**, [http://www.yu1aw.ba-karlsruhe.de/Uticaj\\_koaksa\\_na\\_Yagi.pdf](http://www.yu1aw.ba-karlsruhe.de/Uticaj_koaksa_na_Yagi.pdf)
2. 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>
3. 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>
4. Dragoslav Dobričić, YU1AW, **Yagi Antenna Q factor**, *antenneX*, July 2008, Issue No. 135.

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