

TELEKOMUNIKACIONI VODOVI $\lambda/4$ TALASNE DUŽINE (ili kako napraviti koaksialni deljitelj tj *splitter* za VHF i UHF opsege)

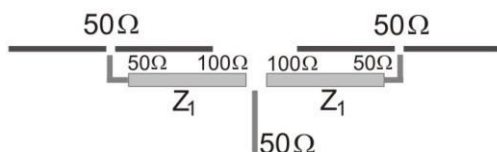
U radiotehnici vrlo često imamo potrebu da impedacu jednog telekomunikacionog voda prilagođavamo impedaci drugog telekomunikacionog voda. U tu svrhu najčešće koristimo telekomunikacione vodove dužine $k \cdot \lambda/4$ radne frekvencije, gde je k neparan broj. Uzmimo sledeći primer: neka imamo jedan telekomunikacioni vod impedace Z_1 koji trebamo spojiti na drugi telekomunikacioni vod impedace Z_2 . Tada kao prilagođavač impedace koristimo treći telekomunikacioni vod impedace Z i dužine $\lambda/4$ kao što je prikazano na slici dole.

Impedacu ovog trećeg voda izračunavamo na sledeći način: $Z = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$ pri čemu je impedaca Z_1 ulazna impedaca u naš prilagodni vod, a impedaca Z_2 je izlazna impedaca iz našeg prilagodnog voda. Dužina našeg prilagodnog voda je $\lambda/4$ gde je λ talasna dužina. Kao što se iz priloženog vidi ovi prilagodni vodovi su dimanzijama vezani za radnu frekvenciju pa su samim time i uskopojasni. No ako posmatramo potrebe radioamatera onda možemo reći da prilagodni vodovi projektovani za jedan band pokrivaju čitavu širinu frekventnog opsega tog banda.

Generalno koaksialni deljitelji koji predstavljaju telekomunikacione vodove dužine $\lambda/4$ se projektuju na dva načina. Jedni su dužine $\lambda/2$ i tada u jednom kućištu imamo dva prilagodna voda dužine $\lambda/4$, koji su tako isprojektovani tako da na svom izlazu imaju impedacu od 100Ω . Oni se na jednom svom kraju paralelno spajaju te na izlazu imamo rezultatnu impedacu od 50Ω . Drugi su dužine $\lambda/4$ i oni u svom kućištu imaju jedan prilagodni vod koji je tako projektovan da na izlazu prilagodnog voda ima impedacu od 50Ω . Detaljnije o ovim konstrukcijama možemo videti i tekstu dole.

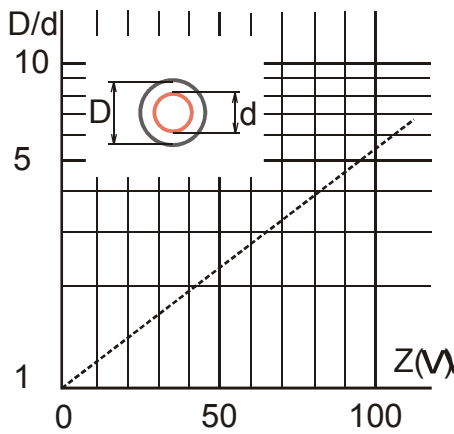
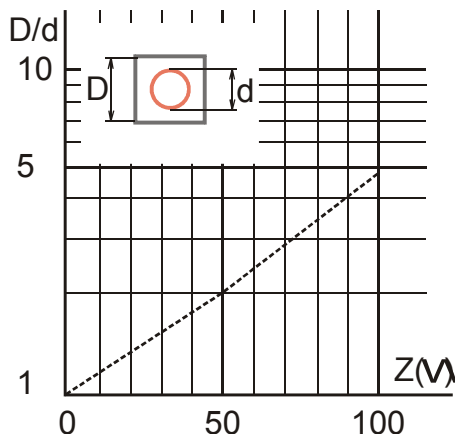
• projektovanje koaksialnog deljitelja za sprezanje dve antene 2:1

Dva polutalasna dipola impedace 50Ω mogu se sprežati na dva načina. Prvi način je prikazan na slici dole levo. Koaksialni kablovi iz polutalasnih dipola spajaju se na ulaze prilagodnih vodova impedace Z_1 . Potom se izlazi prilagodnih vodova paralelno spajaju i rezultat ove paralelne veze je ponovo vod impedace 50Ω . Prvo moramo da izračunamo impedacu prilagodnog voda Z_1 . Nju računamo po gore datoj formuli:



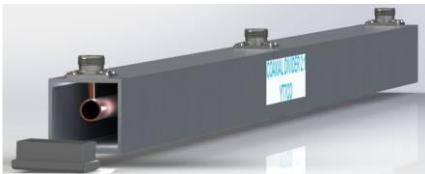
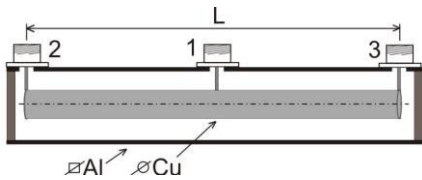
$$Z_1 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_{out}} = \sqrt{50 \cdot 100} = \sqrt{5000} = 70,7\Omega$$

Dobili smo da naš prilagodni vod mora imati impedacu $Z_1=70,7\Omega$ i dužinu od $\lambda/4$ talasne dužine. Sada nam preostaje da izračunamo fizičke dimenzije ovoga koaksialnog delitelja. Sam koaksialni delitelj se može fizički izraditi na više načina: kao dva voda okruglog preseka postavljena paralelno, kao vod okruglog preseka postavljen iznad uzemljene ravne ploče, kao dva voda okruglog preseka postavljena paralelno unutar provodnika okruglog preseka,... no najčešće se koristi kombinacija dve cevi postavljene koaksialno jedna u drugoj. Ova kombinacija obezbeđuje veliku mehaničku čvrstoću, a otporna je i na atmosferske uticaje. Postoje dve kombinacije ove izrade: prva i najčešća je spoljašnja cev od aluminijuma kvadratnog preseka dok je unutrašnja cev od bakra i okruglog je preseka, i druga kombinacija, spolašnja cev je od aluminijuma okruglog preseka i unutrašnja cev od bakra je isto okruglog preseka. Skoro svi proizvođači koaksialnih delitelja koriste prvu kombinaciju prilikom izrade istih zbog jeftinije izrade no kako ćemo videti u daljem tekstu druga kombinacija u mnogim slučajevima daje bolja rešenja i obezbeđuje tačniju izradu samih delitelja.



unutrašnja cev od bakra i okruglog je preseka, i druga kombinacija, spolašnja cev je od aluminijuma okruglog preseka i unutrašnja cev od bakra je isto okruglog preseka. Skoro svi proizvođači koaksialnih delitelja koriste prvu kombinaciju prilikom izrade istih zbog jeftinije izrade no kako ćemo videti u daljem tekstu druga kombinacija u mnogim slučajevima daje bolja rešenja i obezbeđuje tačniju izradu samih delitelja.

Gornji grafici nam služe za određivanje fizičkih dimenzija koaksialnih delitelja. Kao referentne mere uzimaju se: spoljašnje dimenzije Cu cevi i unutrašnje dimenzije Al cevi. U našem slučaju opredelićemo se za koaksialni delitelj kod koga je spoljna Al cev kvadratnog preseka, a unutrašnja Cu cev okruglog preseka. Da bi pronašli tačne dimenzije traženog koaksialnog delitelja tj Al i Cu cevi, prvo moramo da odredimo odnos D/d. Ovaj odnos određujemo iz grafika zavisnosti impedace Z i odnosa D/d koji je dat na gornjem grafiku levo. Impedaci od $70,7\Omega$ odgovara odnos D/d=2,98. Sada je potrebno iz ponude proizvođača Al kvadratnih cevi i Cu okruglih cevi odabrati kombinaciju koja se može naći na tržištu i koja zadovoljava traženi odnos D/d. Prilikom odabira cevi iz ponude moramo da vodimo računa i tome da ne odaberemo kombinaciju koju je fizički nemoguće napraviti. Jedan od ograničavajućih faktora su i fizičke dimenzije koaksialnih konektora UHF konektor ili N konektor ili nekog drugog koje trebamo učvrstiti za Al kvadratnu cev. Iz tog razloga min dimenzije za Al kvadratnu cev se uzimaju spoljne dimenzije Al kvadratne cevi od 20x20(mm). U našem slučaju odabiramo Al kvadratnu cev spoljašnjeg preseka 40x40(mm) debljine zida od 2mm kao i Cu okruglu cev spoljnog preseka Ø12mm (Ø11,93mm). Odabirom ove dve cevi dobijamo odnos D/d=3 i određujemo da će naš koaksialni razdelnik imati



impedacu od $Z_1=70,4\Omega$ što je odstupanje od projektovane vrednosti za 0,4%. Grafici zavisnosti impedace Z i odnosa D/d dati na predhodnoj strani nam služe za grubo određivanje odnosa D/d jer pri malim vrednostima impedace Z određivanje odnosa D/d iz grafika je otežano. Za precizno određivanje fizičkih dimenzija koaksialnog delitelja i njegovih električnih karakteristika služi nam program *AppCAD Avago technologies*. Sam koaksialni delitelj projektovan na ovaj način izgledati će kao na 3d slici levo. Na konektore 2 i 3 priključuju se kablovi koji vode do antena, a na konektor 1 priključuje se kabel koji vodi do primopredajnika. Kablovi koji vode do pojedinačnih antena **moraju biti jednake** dužine da se ne bi javila nesimetrija u sistemu. Vrednost dužine Cu cevi L zavisi od radne frekvencije za koju je koaksialni delitelj projektovan i za neke od radio amaterskih frekvencija iznosi:

dužine Cu cevi $\lambda/2$

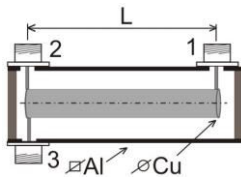
f (MHz)	50	144	432	1296
L (mm)	2988	1040	347	115

Kao što se može videti ovaj koaksialni delitelj ima dužinu od $\lambda/2$ jer su u jednom kućištu 2 prilagodna voda Z_1 pojedinačne dužine $\lambda/4$. Kako u našem slučaju projektovani prilagodni vod ima kao izolator vazduh prilikom izrade ovoga koaksialnog delitelja dužina L bakarne cevi je tačno $\lambda/2$ bez faktora skraćenja. Dužina Al kvadratne cevi je veća od Cu cevi za otprilike 2x20mm koliko je potrebno da se na krajevima koaksialnog delitelja učvrsti koaksialni konektor. Ovi koaksialni delitelji predstavljaju otvorene vodove u električnom pogledu pa se same Al kvadratne cevi na krajevima mogu zatvarati samo nekim izolacionim materijalom.

Drugi način povezivanja dva polutalasnog dipola prikazan je na slici dole levo. Razlika u odnosu na prvi tip je u tome što u ovom slučaju koaksialne kablove koji vode do antena na prilagodni vod priključujemo paralelno prilagodnom vodu tj na ulazu u prilagodni vod imamo impedacu od 25Ω . Izlaz prilagodnog voda se projektuje za impedacu od 50Ω . Samu impedacu prilagodnog voda izračunavamo po poznatoj formuli:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_{out}} = \sqrt{25 \cdot 50} = \sqrt{1250} = 35,3\Omega$$

Iz gornjeg levog grafika odnosa impedace i odnosa D/d određujemo vrednost D/d=1,67. Ponovo nam predstoji odabir Al i Cu cevi iz ponude proizvođača koji se mogu naći na tržištu. Odabiramo Al kvadratnu cev spoljašnjeg preseka 35x35(mm) debljine zida 2mm i Cu cev spoljnog prečnika Ø18mm (Ø18,55mm). Odabirom ovih dimenzija cevi dobijamo odnos D/d=1,7 a impedansa našeg prilagodnog voda je $Z_1=37,1\Omega$. Odstupanje od tražene impedace je 5%. Iako ovo odstupanje nije veliko moguće je pronaći još neku kombinaciju koja će imati još manje odstupanje od projektovane vrednosti. Jedna od mogućih kombinacija Al kvadratna cev spoljašnjeg preseka 50x50(mm) debljine zida 2mm i Cu cev spoljašnjeg prečnika Ø28mm (Ø27,53mm) daje odnos D/d=1,63 i impedacu od $Z_1=34,3\Omega$. Pri ovom odabiru cevi imamo odstupanje od projektovane impedace za 2,8%. Ako posedujemo mini konektore



druga kombinacija je Al kvadratna cev preseka 20x20(mm) debljine zida 1,5mm i Cu cev spoljašnjeg prečnika Ø10mm (Ø10,17mm). I u drugom slučaju imamo isto odstupanje od projektovane vrednosti impedace od 2,8%. Na konektore 2 i 3 spajamo kablove koji idu ka antenama, a na konektor 1 spajamo kabel koji ide ka primopredajniku. Fizički izgled koaksialnog delitelja 2:1 realizovan od strane YU7WL za frekvenciju od 144MHz dat je na slici gore levo. Dužina L Cu cevi je tačno $\lambda/4$ radne frekvencije i za neke od radioamaterskih frekvencija data je u tabeli.

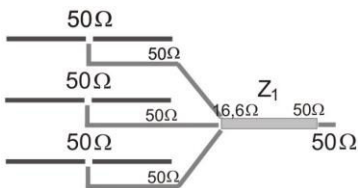
dužine Cu cevi $\lambda/4$

f(MHz)	50	144	432	1296
L(mm)	1494	520	173	57

Prilikom realizacije gore projektovanog koaksialnog delitelja vidimo da na tržištu nemamo odgovarajuće kvadratne Al i okrugle Cu cevi pomoću koga bi realizovali koaksilani delitelj koji bi imamo grešku manju od 2,8%. Zato pokušavamo da realizaciju i bolje rezultate ostvarimo pomoću Al i Cu cevi okruglog preseka. U ovom slučaju koristimo gornji desni grafik zavisnosti odnosa D/d i impedace Z. Iz grafika određujemo odnos D/d=1,8. Odabiramo spoljašnju Al cev okruglog preseka Ø30mm i debljine zida 1,5mm kao i unutrašnju Cu cev okruglog preseka Ø15mm (Ø14.98mm). Ovaj odabir cevi daje impedacu od 35,2Ω ili grešku od 0,3% u odnosu na zadatu vrednost. Na slici dole levo možemo videti 3d crtež ovako projektovanog delitelja. Na krajevima AL cevi imamo mašinski obrađene prstene od aluminijuma koji nam služe za učvršćivanje konektora. Prsteni se mogu učvrstiti za Al cev pomoću vijkova ili još bolje zavariti za Al cev. Njihov unutrašnji prečnik je u isto vreme spoljašnji prečnik Al cevi Ø30mm. Bakarna cev u unutrašnjosti je dužine 520mm za frekvenciju od 144Mhz.



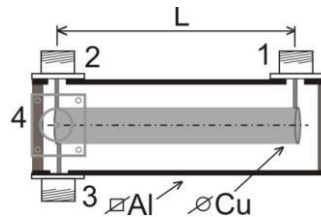
- projektovanje koaksialnog delitelja za sprezanje tri antene 3:1**



Tri polutalasna dipola se mogu spregnuti na način prikazan na slici levo. Sva tri koaksialna kabla koji idu sa polutalasnih dipola paralelno se spajaju na ulazu prilagodnog voda. Tako na ulazu prilagodnog voda imamo impedacu od 16,6Ω, dok je izlaz prilagodnog voda projektovan na impedacu od 50Ω. Impedancu Z_1 prilagodnog izračunavamo na sledeći način:

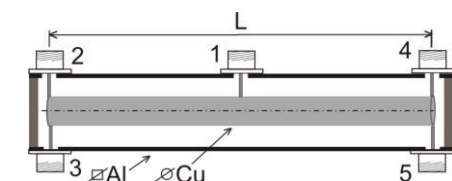
$$Z_1 = \sqrt{16,6 \cdot 50} = \sqrt{830} = 28,8\Omega$$

Iz grafika zavisnosti određujemo vrednost D/d koja odgovara impedaci od 28,8Ω, a to je D/d=1,5. Iz ponude proizvođača cevi odabiramo Al kvadratnu cev spoljašnjeg preseka 30x30(mm) debljine zida od 1.5mm i Cu okruglu cev spoljnog preseka Ø18mm (Ø18mm). Pri ovome odabiru cevi dobijamo odnos D/d=1,5 i impedancu $Z_1=28,8\Omega$. Odabrana kombinacija cevi daje nam idealno poklapanje sa teoretski zadanim vrednostima. Koaksialni delitelj će izgledati kao na slici levo. Na priključke 2, 3 i 4 priključujemo kablove koji idu ka antenama dok na priključak 1 priključujemo kabel koji ide ka primopredajniku. Dužina Cu cevi je tačno $\lambda/4$ čije vrednosti za različite radio amaterske frekvencije možemo videti u gornjoj tabeli.



- projektovanje koaksialnog delitelj za sprezanje četiri antene 4:1**

Četiri polutalasna dipola impedace 50Ω mogu se sprezati na dva načina. Prvi je prikazan na slici dole levo. Po dva koaksialna kabla iz polutalasnih dipola spajaju se na ulaze prilagodnih vodova impedace Z_1 . Potom se izlazi prilagodnih vodova paralelno spajaju i rezultat ove paralelne veze je ponovo vod impedace 50Ω. Prvo moramo da izračunamo impedacu prilagodnog voda Z_1 . Nju računamo po gore datoj formuli:



$$Z_1 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_{out}} = \sqrt{25 \cdot 100} = \sqrt{2500} = 50\Omega.$$

Znači naš prilagodni vod ima impedacu od 50Ω. U ovom slučaju kao prilagodni vod impedance Z_1 može da posluži i napojni koaksialni vod impedance 50Ω. Dužina ovoga voda L_1 će biti $L_1 = k \cdot V \cdot \lambda/4$, gde je k neparan broj, a V je faktor skraćenja koji za koaksialne kablove tipa RG213 i RG58 iznosi V=0,66. Ovde treba napomenuti da brojčanu vrednost faktora sraćenja V, koja se već godinama u literaturi uzima kao konstanta, sada trebamo posmatrati samo kao orijentacionu vrednost. Merenja na pojedinim koaksialnim kablovima su

neparan broj, a V je faktor skraćenja koji za koaksialne kablove tipa RG213 i RG58 iznosi V=0,66. Ovde treba napomenuti da brojčanu vrednost faktora sraćenja V, koja se već godinama u literaturi uzima kao konstanta, sada trebamo posmatrati samo kao orijentacionu vrednost. Merenja na pojedinim koaksialnim kablovima su

pokazala da vrednost faktora skraćenja varira i do $\pm 10\%$ od katalogski definisane vrednosti. Kako faktor skraćenja isključivo zavisi od izolacionog materijala od koga je izrađivan kabel najverovatnije da su proizvođači kablova zbog smanjenja troškova malo izmenili materijal za izolatore. Na UHF opsezu to odstupanje može biti toliko da prilagodni vod od koaksialnog kabla "izleti" iz frekventnog opsega za koji je projektovan. No i ovaj prilagodni vod se može isprojektovati pomoću Al kvadratne cevi i Cu okrugle cevi. Iz grafika određujemo odnos D/d koji odgovara impedanci od 50Ω , to je $D/d=2,13$. Potom odabiramo Al i Cu cevi iz ponude proizvođača koji se mogu naći na tržištu. Odabiramo Al kvadratnu cev spoljašnjeg preseka 35×35 (mm) debljine zida 2mm i Cu bakarnu cev spoljog prečnika $\varnothing 15$ mm ($\varnothing 14,51$ mm). Odabirom ovih dimenzija cevi dobijamo odnos $D/d=2,06$ a impedansa našeg prilagodnog voda je $Z_1=48,1\Omega$. Odstupanje od tražene impedace je 3,8%. Iako ovo odstupanje nije veliko moguće je pronaći još neku kombinaciju koja će imati još manje odstupanje od projektovane vrednosti. Kombi-

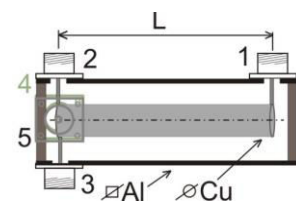
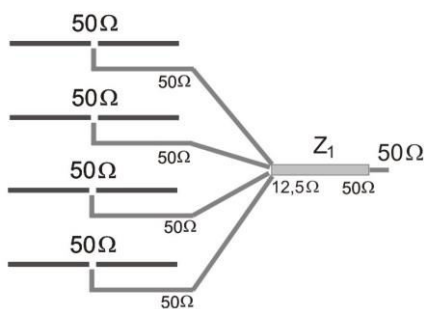


nacija Al okrugle cevi spoljašnjeg preseka $\varnothing 25$ mm debljine zida 1,5mm i Cu bakarne cevi spoljašnjeg prečnika $\varnothing 10$ mm ($\varnothing 9,99$ mm) daje impedacu od $Z_1=49,9\Omega$. Pri ovom odabiru cevi imamo odstupanje od projektovane impedace za 0,2%. Ukupna dužina Cu cevi ovako izrađenog koaksialnog delitelja će biti $L=\lambda/2$ jer on u sebi sadrži dva prilagodna voda dužine $\lambda/4$ kako je već bilo opisano u gornjem delu teksta. Dole levo imamo 3d crtež ovako isprojektovanog koaksialnog delitelja. Na antenske konektore na krajevima koaksialnog delitelja priključujemo kablove koji vode do antena, a na antenski konektor na sredini koaksialnog delitelja priljučujemo kabel koji vodi do primopredajnika.

Drugi način povezivanja četiri polutalasna dipola prikazan je na slici levo. Razlika u odnosu na prvi tip je u tome što u ovom slučaju koaksialne kablove koji vode ka antenama, na prilagodni vod, priključujemo paralelno prilagodnom vodu tj na ulazu u prilagodni vod imamo impedacu od $12,5\Omega$. Izlaz prilagodnog voda se projektuje za impedacu od 50Ω . Samu impedacu prilagodnog voda izračunavamo po poznatoj formuli:

$$Z_1 = \sqrt{12,5 \cdot 50} = \sqrt{625} = 25\Omega$$

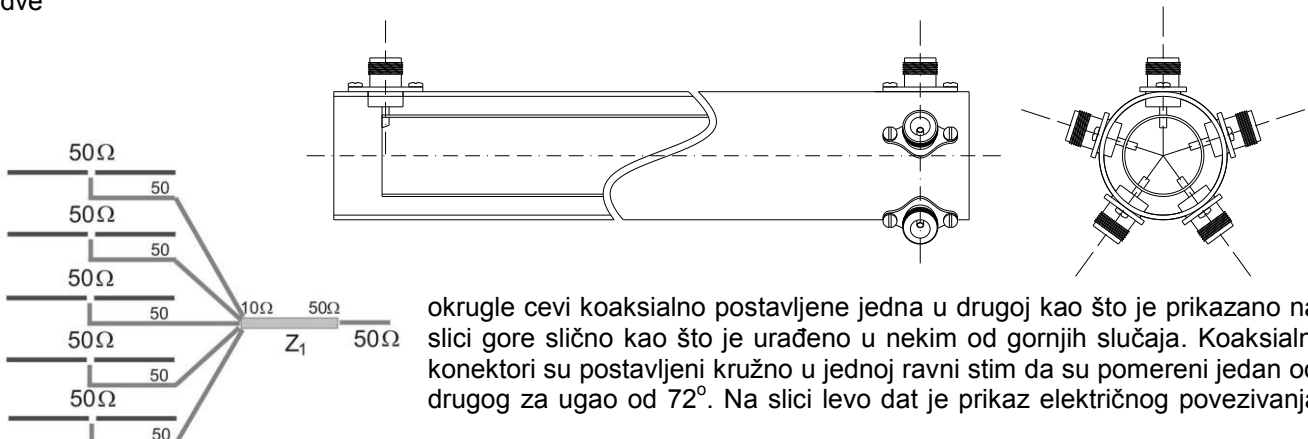
Iz grafika zavisnosti impedace i odnosa D/d određujemo odnos $D/d=1,4$. Zatim iz ponude proizvođača cevi dostupne na tržištu odabiramo sledeću kombinaciju: Al kvadratna cev spoljašnjeg preseka 35×35 (mm) debljine zida 2mm i Cu cev okruglog spoljnog preseka $\varnothing 22$ mm ($\varnothing 22,03$ mm). Odabrana kombinacija daje odnos $D/d=1,40$ i impedacu prilagodnog voda od $Z_1=25,1\Omega$. Ova kombinacija daje odstupanje od projektovane impedace za 0,4% tako da se druga kombinacija neće tražiti. Crtež prilagodnog voda, tj koaksialni delitelj, izgleda kao na slici levo. Na priključke 2, 3, 4 i 5 priključuju se kablove koji idu ka antenama dok se na priključak 1 spaja kabel koji ide ka anteni. Dužina L Cu cevi je tačno $\lambda/4$.



• projektovanje koaksialnog delitelja za sprezanje pet antena 5:1

Sprezanje pet polutalasnih dipola se obično ne razmatra u literaturi koja se bavi ovom oblašću. Preporučuje se sprezanje 3:1+2:1 tj prvo se sprežu tri antene na jedan prilagodni vod prilagođenja 3:1 pa se potom sprežu preostale dve antene na drugi prilagani vod prilagođenja 2:1 i na kraju se sprežu prvi i drugi prilagani vod preko trećeg prilagodnog voda prilagođenja 2:1. Osnovni razlog ovako komplikovane sprege leži u tome da Al kvadratna cev ima samo 4 bočne strane na koje može da stane samo po jedan antenski konektor.

Kako se prilagodni vod 5:1 ne može izraditi od Al kvadratne cevi ideja je da prilagodni vod ponovo uradi od dve



okrugle cevi koaksialno postavljene jedna u drugoj kao što je prikazano na slici gore slično kao što je urađeno u nekim od gornjih slučajeva. Koaksialni konektori su postavljeni kružno u jednoj ravni stim da su pomereni jedan od drugog za ugao od 72° . Na slici levo dat je prikaz električnog povezivanja

polutalasnih dipola u ovaj sistem. Kao što možemo videti kablove sa polutalasnih dipola vezujemo paralelno na ulaz u prilagodni vod tako da na ulazu prilagodnog voda imamo impedancu od 10Ω . Izlaz prilagodnog voda se projektuje za impedancu od 50Ω . Sam prilagodni vod ima impedancu Z_1 :

$$Z_1 = \sqrt{10 \cdot 50} = \sqrt{500} = 22,3\Omega$$

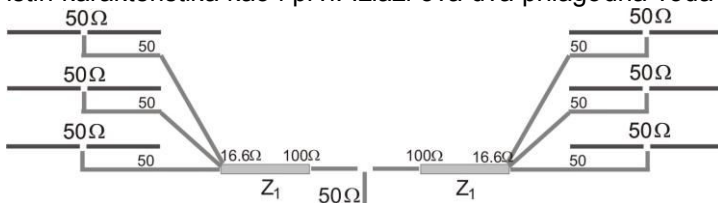
Pošto smo se odlučili za prilagodni vod koji sačinjavaju dve okrugle cevi koaksialno postavljene jedna u drugu, odnos D/d ćemo tražiti u grafiku datom gore desno u tekstu jer se on odnosi na prilagodne vodove koje sačinjavaju okrugla dve cevi se koaksialno nalaze jedna u drugoj. Odabrana je kombinacija okrugle spoljašnje



Al cevi spoljnog prečnika $\varnothing 55\text{mm}$ debljine zida 2mm kao i unutrašnje okrugle Cu cevi spoljnog prečnika $\varnothing 35,15\text{mm}$ ($\varnothing 35,15\text{mm}$). Ovako odabrana kombinacija cevi daje odnos $D/d=1,45$ i impedancu prilagodnog voda $Z_1=22,6\Omega$. Pri odabiru ove kombinacije dobijamo odstupanje impedace od inpedace dobijene proračunom je $1,3\%$. Dužina Cu cevi je $\lambda/4$. Na slici levo imamo 3d crtež ovako projektovanog koaksialnog delitelja. Dužina vodova od antena do koaksialnog delitelja mora biti jednaka.

- projektovanje koaksialnog delitelja za sprezanje šest antena 6:1**

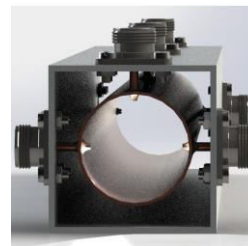
Sprezanje šest polutalasnih dipola u jedan sistem se radi na sledeći način. Prvo povezujemo tri antene na jedan prilagdni vod, a potom to isto uradimo i sa preostale tri antene tako da ih spajamo na drugi prilagodni vod istih karakteristika kao i prvi. Izlazi ova dva prilagodna voda se na kraju vezuju paralelno. Na ulazu u prilagodni



vod imamo impedancu od $16,6\Omega$, a izlaz prilagodnog voda projektujemo za impedancu od 100Ω . Impedansu Z_1 prilagodnog voda određujemo na sledeći način:

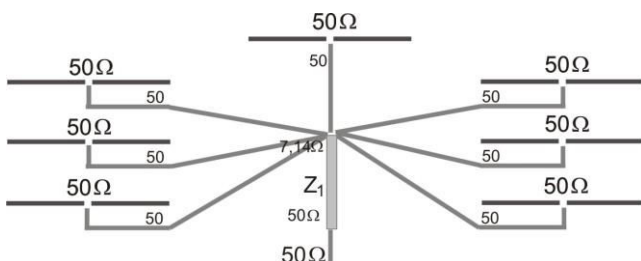
$$Z_1 = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_{out}} = \sqrt{16,6 \cdot 100} = 40,8\Omega$$

Iz ponude Al i Cu cevi na tržištu odabiramo sledeću kombinaciju: Al kvadratna cev spoljnog preseka $55 \times 55(\text{mm})$ debljine zida 2mm i Cu okruglu cev spoljašnjeg prečnika $\varnothing 28\text{mm}$ ($\varnothing 27,84\text{mm}$). Ovom kombinacijom dobijamo odnos $D/d=1,82$ i impedancu Z_1 prilagodnog voda od $Z_1=40,5\Omega$. Odabirom ove kombinacije cevi dobili smo odstupanje od projektovane impedace za $0,73\%$ tako da prihvatamo ovaj odabir Al i Cu cevi za izradu projektovanog koaksialnog delitelja. Dužina Cu cevi je $\lambda/2$ jer u jednom kućištu koaksialnog delitelja objedinjujemo oba prilagodna voda Z_1 .



Na gornjim 3d animacijama možemo videti kako izgleda koaksialni delitelj 6:1. Vidimo kako se bakarna cev okruglog preseka nalazi u središti cevi od aluminijuma kvadratnog preseka. Radi lakšeg lemljenja bakarne cevi potrebno je odabrati bakarnu cev sa što manjom debljinom zida jer je bakar vrlo dobar provodnik toplote te se iz tog razloga teško leme veći komadi. Prvo se lemi "vrući kraj" središnjeg antenskog konektora, kroz središnji otvor $\varnothing=15\text{mm}$ u aluminijumskoj cevi, pa se potom leme i ostali antenski konektori za bakarnu cev kroz krajnji otvor aluminijumske cevi. Ovi krajnji otvori se na kraju zatvaraju plastičnim kvadratnim poklopcima kojih ima na tržištu.

- projektovanje koaksialnog delitelja za sprezanje sedam antena 7:1**



Koaksialni delitelj za povezivanje sedam antena projektovaćemo na identičan način kao što smo projektovali koaksialni delitelj za sprezanje pet antena. Ponovo zbog neparnog broja ulaznih antenskih konektora i nemogućnosti da se oni stave na jednu stranu koaksialnog delitelja od Al cevi kvadratnog

preseka, odlučujemo se za izradu koaksialnog delitelja od dve koaksialne cevi okruglog preseka kao na slici dole. Električni način povezivanja sedam polutalasnih dipola dat je na slici gore levo. Sedam koaksialnih kablova koji idu ka antenama spajamo paralelno na ulaz prilagodnog voda i dobijamo impedacu od $7,14\Omega$ na ulazu u prilagodni vod. Izlaz prilagodnog voda projektujemo za impedacu od 50Ω . Impedanaca traženog prilagodnog voda će biti:

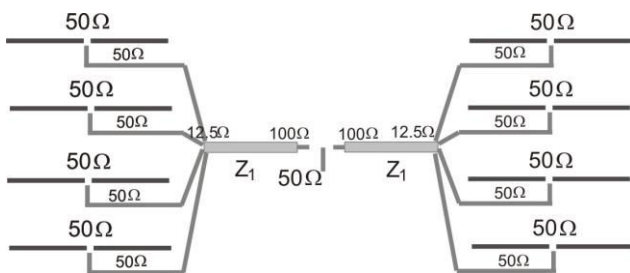
$$Z_1 = \sqrt{7,14 \cdot 50} = \sqrt{357} = 18,8\Omega$$

Ponovo za određivanje odnosa D/d koristimo gornji desni grafik ili program *AppCAD*. Iz ponude Al i Cu cevi na tržištu odabrana je sledeća kombinacija: Spoljašnja Al cev spoljnog prečnika $\varnothing 25\text{mm}$ debljine zida $1,5\text{mm}$ i Cu unutrašnja cev spoljnog prečnika $\varnothing 16\text{mm}$ ($\varnothing 16,07\text{mm}$). Odabirom ove kombinacije cevi dobijamo koaksialni delitelj kod koga je $D/d=1,35$ i impedaca $Z_1=19,1\Omega$. Odstupanje od projektovane impedace je za $1,6\%$ tako da se prihvata ovaj odabir cevi. Dužina Cu cevi je $\lambda/4$. Jedno od mogućih rešenja ovako projektovanog koaksialnog delitelja možemo videti na 3d crtežu levo. Prilikom ovakve realizacije koaksialnog delitelja nemamo idealno naleganje konektora na Al cev pa se zazor mora popuniti slikonom.



se prihvata ovaj odabir cevi. Dužina Cu cevi je $\lambda/4$. Jedno od mogućih rešenja ovako projektovanog koaksialnog delitelja možemo videti na 3d crtežu levo. Prilikom ovakve realizacije koaksialnog delitelja nemamo idealno naleganje konektora na Al cev pa se zazor mora popuniti slikonom.

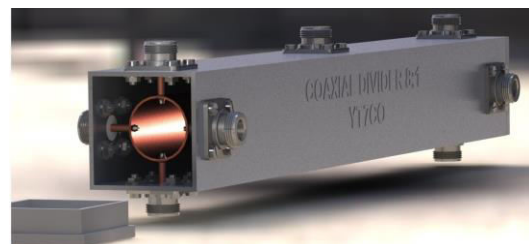
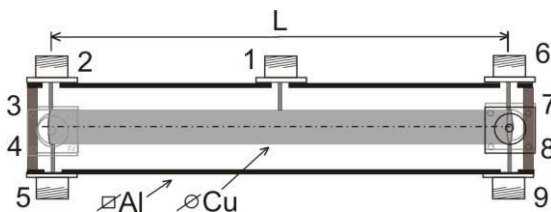
• **projektovanje koaksialnog delitelja za sprezanje osam antena 8:1**



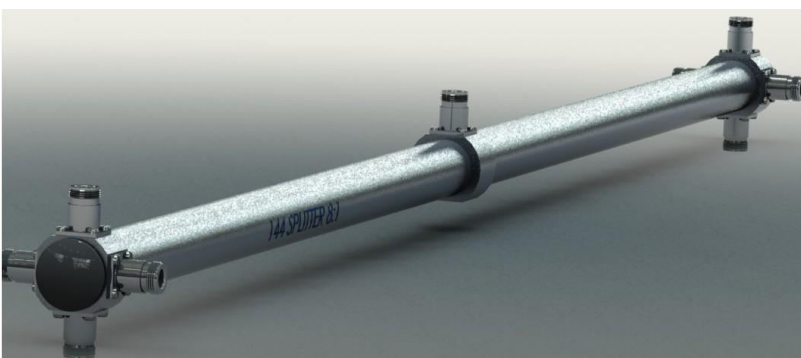
Osam polutalasnih dipola spajamo u sistem na sledeći način: prve četiri antene spajamo paralelno na ulaz prvog prilagodnog voda impedace Z_1 , a zatim druge četiri antene spajamo paralelno na ulaz drugog prilagodnog voda iste impedace Z_1 . Oba prilagodna voda su izlazima paralelno spojena, kao na slici levo. Impedanaca prilagodnog voda Z_1 će biti:

$$Z_1 = \sqrt{12,5 \cdot 100} = \sqrt{1250} = 35,3\Omega$$

Problem izbora odgovarajuće kombinacije cevi za izradu koaksialnog delitelja smo u slučaju impedace od $Z=35,3\Omega$ već razmatrali. Odabiramo Al kvadratnu cev spoljašnjeg preseka $35 \times 35\text{mm}$ debljine zida 2mm i Cu cev spoljnog prečnika $\varnothing 18\text{mm}$ ($\varnothing 18,55\text{mm}$). Odabirom ovih dimenzija cevi dobijamo odnos $D/d=1,7$ a impedansa našeg prilagodnog voda je $Z_1=37,1\Omega$. Odstupanje od tražene impedace je 5% .



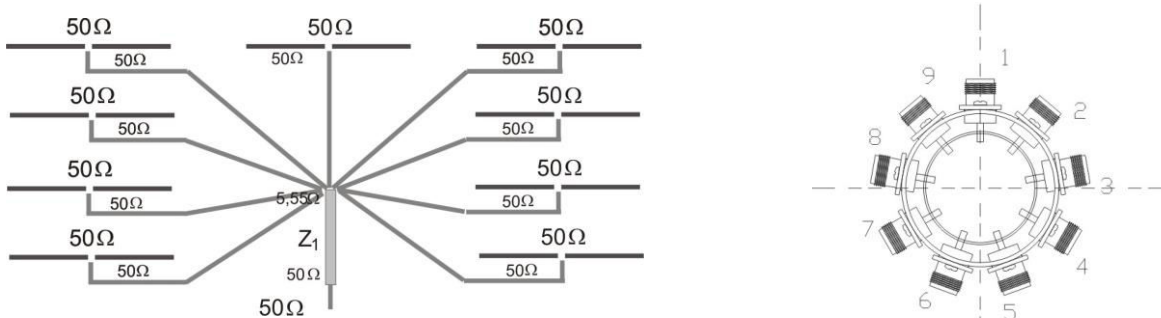
Na slici gore desno možemo videti 3d crtež koaksialnog delitelja projektovanog na gore naveden način. Dužina L Cu cevi je $\lambda/2$. Kako je odstupanje od projektovane vrednosti impedace 5% , slično kao u predhodnom slučaju određivanju fizičkih dimenzija koaksialnog delitelja $2:1$ impedace $Z=35,3\Omega$, odlučujemo se da koaksialni delitelj realizujemo kombinacijom dve okrugle cevi postavljene koaksialno jedna u drugoj. Odabiramo spoljašnju Al cev okruglog preseka $\varnothing 30\text{mm}$ i debljine zida $1,5\text{mm}$ kao i unutrašnju Cu cev okruglog preseka $\varnothing 15\text{mm}$ ($\varnothing 14,98\text{mm}$). Ovaj odabir cevi daje impedacu od $35,2\Omega$ ili grešku od $0,3\%$ u odnosu na zadatu vrednost. Na 3d crtežu levo možemo videti koaksialni delitelj projektovan na ovaj način.



videti koaksialni delitelj projektovan na ovaj način.

- **projektovanje koaksialnog delitelja za sprezanje devet antena 9:1**

Sprezanje devet polutalasnih dipola uradićemo na način prikazan na slici dole. Svih devet koaksialnih kablova iz antena spajamo paralelno na ulaz prilagodnog voda impedace Z_1 . Impedaca na ulazu u prilagodni vod će biti



$Z_{in}=5,55\Omega$. Izlaz prilagodnog voda će napajati kabel impedace $Z_{out}=50\Omega$. Impedaca prilagodnog voda će biti:

$$Z_1 = \sqrt{5,55 \cdot 50} = \sqrt{277,7} = 16,6\Omega$$

Prilikom izrade koaksialnog delitelja i u ovom slučaju se odlučujemo za kombinaciju dve okrugle cevi koaksialno postavljene jedna u drugoj. Odlučujemo se za kombinaciju okrugle spoljašnje Al cevi spoljnog prečnika $\varnothing=75\text{mm}$ debljine zida od 2mm i unutrašnje okrugle Cu cevi spoljnog prečnika $\varnothing=54\text{mm}$ ($\varnothing=53,82\text{mm}$). Ova kombinacija cevi daje impedacu od $Z_1=16,4\Omega$. Odstupanje ovako dobijene impedace od projektovane vrednosti impedace je za 1,6% što smatramo zanemarljivim. Kao kod koaksialnog delitelja 5:1 i 7:1 i ovde 9 koaksialnih konektora se nalaze i jednoj ravni poređani su u krug i pomereni su za 40° kao što je prikazano na slici levo. Dužina Cu cevi je $\lambda/4$.

Povezivanje još većeg broja polutalasnih dipola u sistem radi se kombinacijom gore prikazanih koaksialnih delitelja. Tako na primer sistem od 12 polutalasnih dipola povezujemo tako da prvih 6 antena vezujemo na prvi koaksialni delitelj 6:1, drugih 6 antena vezujemo na drugi koaksialni delitelj 6:1 i na kraju izlaze ta dva koaksialna delitelja vezujemo na ulaz trećeg koaksialnog delitelja 2:1. Svi antenski kablovi moraju biti simetrično jednaki.

Prilikom odabira tipa koaksialnog delitelja koga želimo da koristimo u našem antenskom sistemu moramo imati u vidu da odabir koaksialnog delitelja sa više ulaza znači manju ulaznu impedacu. To znači i povećanu struju kroz sam delitelj sa svim problemima koji ona izaziva. Slično kao kada koristimo Yagi antene koje su projektovane za malu ulaznu impedancu. Iz tih razloga ne bi trebalo koristiti koaksialne delitelje koji imaju ulaznu impedacu manju od 10Ω . Tako da prikaz projektovanja i realizacije koaksialnih delitelja 7:1 i 9:1 treba posmatrati samo kao teoretski izazov bez neke veće praktične primene.

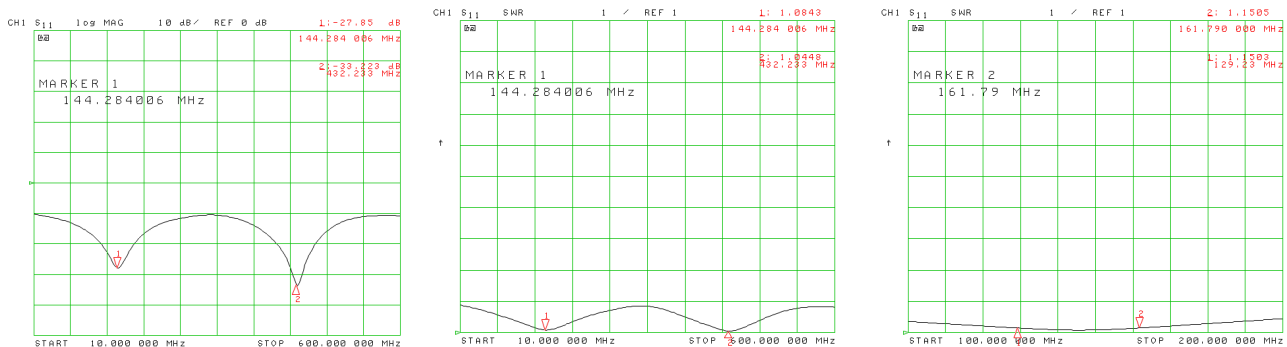
U gornjem tekstu se kao primer antene uzimao polutalasni dipol no isti slučaj važi i za svaku antenu impedace 50Ω npr: yagi, kvad, GP,...

Veća preciznost u izradi koaksialnih delitelja postiže se kalibriranjem bakanih cevi. To se radi tako da se bakarne cevi nešto većeg prečnika od potrebnog za idealno ukalapanje (brojevi u zagradi označeni zelenom bojom) provlače kroz kalibracione prstene od čelika i tako im se prečnik smanjuje na potrebnu vrednost. Na ovaj način moguće je postići preciznosti u izradi koaksialnih delitelja u klasi mernih instrumenata.

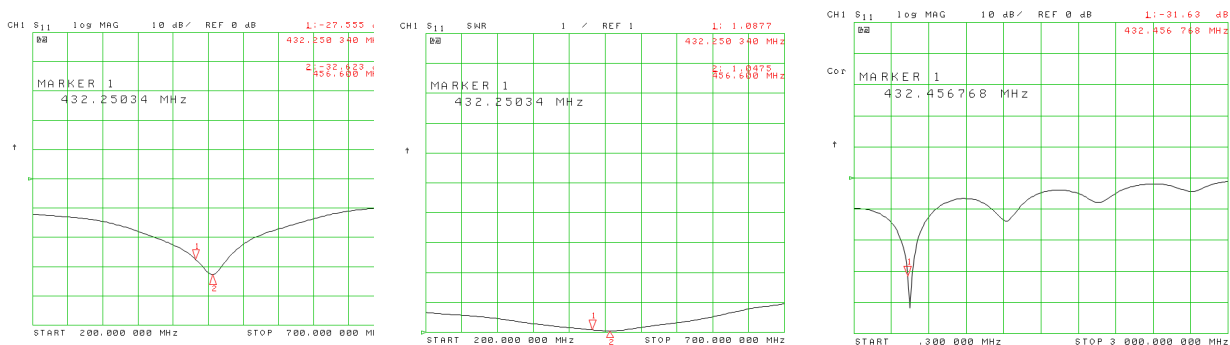
- **merjenja na koaksialnim deliteljima**

Koaksialni delitelji projektovani za frekvenciju od 144MHz mogu se koristiti i u opsegu od 432MHz bez gubitaka jer delitelj projektovan za opseg 144MHz na opsegu od 432MHz predstavlja delitelj koji je $3 \cdot \lambda/4$ umnožak osnovne talasne dužine. Prema merenjima koje je obavio dipl. ing. Vojislav Bandobranski YU7C, na network analyzer-u HP-8753B, koaksialni delitelji projektovani za frekvenciju od 144MHz mogu se koristiti bez gubitaka i na frekvencijama koje predstavljaju umnoške x3, x5, x7 osnovne frekvencije. Na donjim slikama imamo prikaze ovih merjenja. Na prve tri slike možemo videti merjenja koja su obavljena na koaksialnom delitelju 2:1 za frekvenciju od 144MHz. Na slici levo i središnjoj slici možemo videti koliko povrtano slabljenje (return loss) unosi ovakav delitelj u naš antenski sistem. Na frekvenciji od 144MHz slabljenje povratnog signala je 27,85dB, dok na frekvenciji od 432MHz slabljenje povratnog signala je 33,22dB. Za manje upućenje što je slabljenje povratnog signala veće uređaj ima bolje karakteristike. Kako prosečan radioamater više voli da prikaze povratnog slabljenja signala vidi kao odnos SWR ono za frekvenciju od 144MHz iznosi 1:1,08, dok za

frekvenciju od 432MHz ono iznosi 1:1,04. Interesantno je da je ovaj delitelj realizovan od kvadratne Al cevi 35x35mm debljine zida 2mm i okrugle Cu cevi prečnika 18mm. Ako se prisetimo gornjeg dela teksta gde smo razmatrali problematiku izrade koaksialnog delitelja 2:1 onda možemo videti da ova kombinacija Al i Cu cevi i pored teoretskog neslaganja sa idealnim projektovanim vrednostima (odstupanje od 5%) može dati vrlo dobre rezultate. Na slici dole desno možemo videti kolika je širina opsega ovoga koaksialnog delitelja. Vidimo da ona uveliko prevazilazi širinu radioamaterskog opsega od 2MHz za opseg od 144MHz.



Na sledeće tri slike možemo videti rezultate merenja koja su obavljena na koaksialnom delitelju 2:1 koji je projektovan za 432MHz i čija je dužina Cu cevi iznosi 173mm. Na slici dole levo možemo videti odstupanje rezonantne frekvencije od projektovane frekvencije za 24MHz ili za 5,5%. Koaksialni delitelj rezonuje na frekvenciji od 456MHz i na toj frekvenciji ima slabljenje povratnog signala od 32,62dB, dok na projektovanoj frekvenciji od 432,25MHz ima slabljenje povratnog signala od 27,55dB. Ako to opet prebacimo u opšte poznat odnos SWR onda na rezonantnoj frekvenciji SWR je 1:1,04 dok na projektovanoj frekvenciji SWR je 1:1,08. Ovo možemo videti na središnjoj slici dole. Interesantno je primetiti da se ovaj koaksialni delitelj ne može koristiti na frekvenciji od 1296MHz iako na toj frekvenciji predstavlja koaksialni delitelj koji je $3 \cdot \lambda/4$ umnožak talasne dužine. Na slici desno dole možemo videti da ovaj koaksialni delitelj na frekvenciji od 1296MHz ima slabljenje povratnog signala od oko 13dB što je dosta mala vrednost. U praksi se smatra prihvatljivim slabljenje povratnog signala od oko 25dB ili veće. Posledica ovoga malog slabljenja povratnog signala verovatno leži u gubicima koji



se javljaju na frekvencijama od 1296MHz. Najverovatnije lemnjenje koaksialnih konektora sa kalajom sa strane vodova kojom protiče VF struje kao i zatvaranje kvadratne Al cevi plastičnim poklopcima koji na tako visokim frekvencijama nemaju dobra izolaciona svojstva. Naknadna merenja koaksialnog delitelja sa koga su skinuti plastični poklopci na krajevima Al cevi dala su identične rezultate tako da je na ovaj način skinuta sumnja sa plastičnih poklopaca. Ostaje problem lemnog kalaja, eventualno provodnost aluminijuma od koga je napravljena spoljašnja cev ili nečeg trećeg čiji uzroci nisu nađeni.

Nadam se da sam ovim tekstom, mlađim i manje iskusnim radio amaterima, demistikovao koaksialne delitelje. Uz malo mehaničkog rada i pažnje može ih svako napraviti.