

Radioamatöörien antennijärjestelmät

SV9RMU/OH2AXE 2024

Kirjoitin alkuperäisen tekstin englanniksi.
Tämä on jonkin verran muokattu suomennos englanninkielisestä versiosta.

Sisällys

sivu

sivu

A. Yleistä

3

B. Yleistä antenneista

4

B.1 Vähän historiaa

4

B.1.a Antennit

4

B.1.b Lähettimet

4

B.1.c Vastaanottimet

4

B.1.d Varhaisia virstanpylväitä

4

B.2 Joitakin antennijärjestelmän perusteita

5

Aallonpituuden laskentakaavat

6

B.3 Antennin korkeus

9

C. Antennin valinta ja sijoittaminen

10

C.1 Lanka-antennit

13

Lanka-antennin materiaali

13

Lanka-antennin kireys

14

Lanka-antennien tyyppejä

16

Lankadipolin laskentakaava

16

C.2 "Jäykät" antennit

20

Monielementtisen antennin elementtien pituus

21

a. Vertikaalit

21

b. Suunta-antennit

23

Antennin polarisaatio

23

1. Antennin sovitus

23

2. Kääntyvä dipoli

25

3. Yhden alueen jagi

25

4. Monen alueen jagi

26

"Ruuvimeisseli"-antenni

27

Jagi-antennin puomikerroin

28

VHF ja UHF suunta-antennit

28

Helix-antennit

29

Log-periodiset antennit

30

C.3 Muita antennityyppejä

31

Viritetty rengas

31

Kartiovertikaali

32

Discone-antenni

32

EH-antenni

32

C.4 Antennien tuet

32

C.5 Antennin kääntäjät ja antennien suuntaus

33

C.5.a Tarkan pohjoisen tai etelän löytäminen

33

Magneettisen ja maantieteellisen suunnan ero

33

C.5.b Antennisuunnat kaikkialle maailmaan

34

C.5.c Kääntäjän ja antennin asennus

36

D. Balunit ja un-un:it

36

D.1 Jännitebalunit ja -un-unit

37

D.1.a Balunin tai un:un:in sydämen valinta

37

D.1.b Balunin tai un-un:in käämiminen

38

D.2 Virtabalunit

40

D.2.a Kaksilankainen käämi toroidisydämelle

40

D.2.b Koaksiaalikaapeli toroidisydämelle

40

D.2.c Ferriittiputket tai -klipsit koaksiaalikaapeliin

41

D.3 Hybridibaluni

41

E. Syöttökaapeli

41

E.1 Syöttökaapelien tyypit

42

E.2 Impedanssin sovitus kaapeleita käyttäen

42

Nopeuskerroin

42

Muita sovitustapoja

45

F. SWR ja lähetysteho

45

F.1 Syöttölinjojen häviöt

47

Joidenkin kaapelityyppien vaimennuksia eri taajuuksilla

47

F.2 Kaapelit, liittimet ja lähetysteho

49

G. Antennivirittimet

51

Antennivirittinpiirejä

52

G.1 Antennivirittimen sovitusalue

53

G.2 Antennivirittintyypit

54

H. Antennien kerrostaminen

54

H.1 Monialueantennien kerrostaminen

56

H.2 Eri alueiden suunta-antennien kerrostaminen, kuten HF, VHF ja UHF

56

I. Radioamatööriaseman sähköturvallisuus

57

I.1 Suojaaminen vaarallisilta jännitteiltä

57

I.1.a Mekaaninen suojaus

57

I.1.b Safety grounding

57

I.2 Ukkossuojaus

58

J. Lyhenteet

59

J.1 Kaavojen symbolit

59

J.2 Kertoimet

59

J.3 Kaavojen symbolit

59

J.3.a Mekaaniset mitat

59

J.3.b Sähköiset mitta-arvot

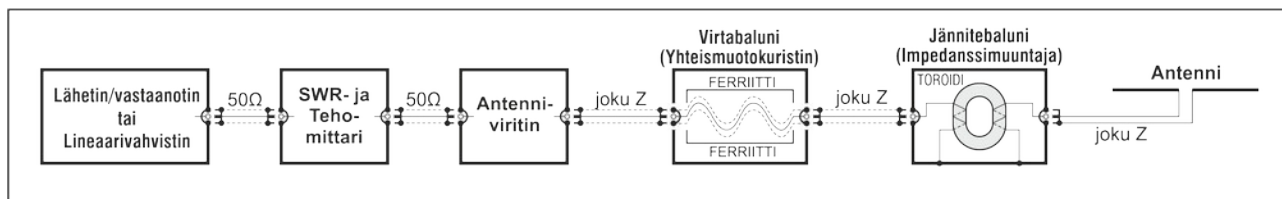
60

J.4 ITU Taajuusalueet

60

K. Loppusanat

61



Esimerkki antennijärjestelmästä

A. Yleistä

Asiat selviksi heti kättelyssä: Olen ollut radioamatööri yli 50 vuotta ja ammattini on elektroniikkasuunnittelija. Sain valmistumistodistuksen radio- ja TV-järjestelmistä vuonna 1970. Nykyisestä hamssitilanteestani löytyy lisätietoja (englanniksi) qrz.com-sivultani: <https://www.qrz.com/db/sv9rmu>.

"Antennijärjestelmällä" tarkoitan kaikkea radion tai lineaarivahvistimen antenniliittimestä antenniin, mukaan lukien SWR/tehomittari, syöttöjohto, antennin sovitus (viritin tms.), baluni(t), itse antenni ja kaikki eri laitteiden ja osien väliset kytkennät. Sinulla ei ehkä ole tai et tarvitse kaikkia yo. esimerkkipiirroksen laitteita. Toisaalta sinulla voi olla joitain lisäosiakin.

Olen yrittänyt koota tähän dokumenttiin käytännöllistä tietoa ja henkilökohtaisia kokemuksia antennijärjestelmistä. Koetan myös selvittää eräitä yleisiä antennijärjestelmiin liittyviä väärinkäsityksiä. En mene kovin syvällisesti antennisuunnittelun hienouksiin ja yritän pitää matematiikan niin vähäisenä ja yksinkertaisena kuin mahdollista.

Näyttää siltä, että osassa radioamatöörikuntaa kiertää runsaasti väärinkäsityksiä antenneista ja antennijärjestelmistä. Jostakin syystä yhden aseman enemmän tai vähemmän toimivaa antennijärjestelmää pidetään yleisenä sääntönä. Useimmiten noita "sääntöjä" voidaan soveltaa vain kyseisen aseman antennijärjestelmään. Yhden radioamatööriaseman antennilaitteita ei yleensä voi kopioida suoraan toiselle asemalle erilaisen ympäristön, laitteiden, materiaalien jne. takia. **Joten omaan antennijärjestelmään on aina ensin sovellettava tieteellisesti todistettuja teknisiä tosiasioita ja vasta sen jälkeen voidaan tehdä kyseiseen laitteistoon muutoksia tarpeen mukaan!**

Antenneissa ja antennijärjestelmissä ei todellakaan ole mitään mystistä. Ne toimivat aina fysiikan lakien mukaan. On vain tiedettävä mitä nuo lait ovat. Yritän tässä dokumentissa selvittää joitakin tärkeimpiä antennien ja antennijärjestelmien perusteita.

Kaikki se "epäilyttävä tieto", jota löytyy internetistä ja levitetään QSO:jen aikana kannattaa unohtaa ja ottaa tämän dokumentin selvitykset todesta. Ne perustuvat todellisiin (soveltuvin osin mitattuihin) teknisiin tosiasioihin ja pitävät yhtä kaiken **luotettavan** radioamatööri- ja ammattikirjallisuuden kanssa, kuten RSGB:n tai ARRL:n käsikirjat ja esim. ITT:n "Reference Data for Radio Engineers" (julkaisija Howard W. Sams & Co, USA). Minulla on tuon käsikirjan 5. laitos (1973).

Tämä dokumentti käsittelee vain HF, VHF ja UHF antennijärjestelmiä. Mikroaaltoantennijärjestelmien laitteet, materiaalit ja rakennustekniikka poikkeavat merkittävästi alemmilla taajuuksilla käytetyistä.

Huom. 1! Kaikki tässä dokumentissa kerrotut esimerkit ovat yleisessä käytössä, mutta NE EIVÄT muodosta täydellistä luetteloa kaikista mahdollisista ratkaisuista.

Huom. 2! Elektroniikkasuunnittelijana luotan vain valmistajien julkaisemiin teknisiin tietoihin, myös kaikessa, mikä liittyy antennijärjestelmiin.

Kaikki tämän dokumentin kuvat ja piirrokset ovat vain esimerkkejä eri ratkaisuista. Ne eivät edusta ainoaa mahdollista tapaa rakentaa tai suunnitella noita osia.

Jos jollakulla on kysyttävää tai kommentoitavaa, sähköpostiosoitteeni on oh2axe@gmail.com.

B. Yleistä antenneista

B.1 Aluksi vähän historiaa

B.1.a Antennit

Saksalainen fyysikko Heinrich Hertz rakensi ensimmäiset antennit vuonna 1888, todistaakseen James Clerk Maxwell'in sähkömagneettisessa teoriassa (1865) ennustettujen aaltojen olemassaolon. Hertz'in kerrotaan sanoneen: "En usko, että löytämilläni radioaalloilla tulee olemaan mitään käytännön merkitystä". Luulisin, että olemme nykyään asiasta vähän eri mieltä. Hertz'in nimestä tulevat taajuuden nimi ("hertz") ja lyhenne ("Hz"). Vuosikymmeniä sitten englanninkielisissä maissa käytettiin taajuudelle "c/s" (cycles-per-second, jaksoa sekunnissa) -lyhennettä, mikä on täsmälleen sama asia kuin Hz. Suunnilleen 1960 luvulle käytettiin taajuuden sijasta usein aallonpituutta, varsinkin yleisradiovastaanottimissa.

Vuodesta 1895 lähtien Guglielmo Marconi alkoi kehittää käytännöllisiä antenneja pitkän matkan langatonta viestintää varten. Hänen antenninsa olivat periaatteessa "monopoleja" (vähän kuin nykyiset vertikaalit, mutta "T"-muotoisena), joissa oli useita lankoja ilmassa ja maa vastapainona. Antenniteoria on kehittynyt paljon noista alkuajoista ja nykyiset antennit eivät perustu varhaisiin kokeisiin.

B.1.b Lähettimet

Alkuaikoina lähettimenä käytettiin antenniliitännän yli olevaa kipinäväliä. Suurjännitekaari synnytti laajan taajuuskaistan ja antenni itse määritti (eli "suodatti") "todellisen" lähetystaajuuden. Jotta kipinäelektrodit kestäisivät pitempään, kehitettiin pyörivät kipinävälit, jotka lisäsivät modulaation (yksiääninen AM) lähetettävään signaaliin. Niissä oli pyörivä (moottorikäyttöinen), useita kipinäelektrodeja sisältävä kiekko ja kaksi kiinteää elektrodia vastakkaisilla puolilla. Myöhemmin piiriin lisättiin erilaisia matalan Q-arvon omaavia L/C -resonaattoreita lähetystaajuuden määrittämiseksi. Lähetetyt CW-signaalit olivat hyvin leveitä. -3 dB (puolen tehon) kaistaleveys oli esimerkiksi ± 200 kHz keskitaajuudesta. Nykyisillä lähettimillä ei ole mitään tekemistä kipinä-lähettimen kanssa.

Ensimmäisiä siniaaltolähettimiä (jatkuva kantaalto) olivat:

- 1910 Alexanderson Alternator: Tämä on periaatteessa vaihtovirtageneraattori, jossa on runsaasti napoja VLF-taajuuden tuottamiseksi. Yksi näistä lähettimistä on edelleen (2024) toimintakunnossa Grimetonissa, Ruotsissa, kutsumerkki SAQ. Se on suunniteltu 200 kW (!) lähtöteholle. Muutaman kerran vuodessa lähetin käynnistetään ja sen avulla lähetetään CW-sanomia 17.2 kHz taajuudella. Katso <https://alexander.n.se/en/>.
- 1920-luvulla ensimmäiset putkilähettimet: Nämä perustuivat takaisinkytkentäoskillaattoriin, joissa käytettiin triodia. Ne voitiin helposti moduloida välittämään äänisignaaleita (AM-modulaatio).
- 1933 ensimmäinen lupa taajuusmoduloidulle (FM) yleisradioasemalle.
- 1930-luvun lopulla ensimmäiset analogiset (musta-valkoiset) TV-asemat matalilla VHF taajuuksilla.

B.1.c Vastaanottimet

Alkuaikoina suurtaajuussignaalien vastaanottoon käytettiin "kohereeri"-ilmaisinta. Se perustui Edouard Branly'n havaintoihin vuodelta 1890. Laite koostuu kapselistä (usein lasia), jossa on kaksi elektrodia ja niiden välissä löysää metallijauhetta tai -pölyä. Kun laitteeseen syötetään suurtaajuussignaali, metallihiukkaset tarttuvat toisiinsa, mikä vähentää kapselin suurta alkuvastusta ja sen läpi pääsee paljon suurempi tasavirta. Virta aktivoi kellon tai paperinauhapiirturin. Kohereerin metallihiukkaset pysyivät johtavina suurtaajuussignaalin päättymisen jälkeen, joten kapseli jouduttiin "nollaamaan" napauttamalla sitä mekaanisesti. Kohereerit olivat laajassa käytössä noin vuoteen 1907. Myöhemmin herkemmät elektrolyyttiset ja kideilmaisimet korvasivat kohereeri-ilmaisimen. Nämä varhaiset piirit olivat tietysti mielessä alkuperäisiä suoria vastaanottimia. Elektromagneetti ja vastaanotintekniikka ovat kehittyneet mittaamattomasti varhaisista järjestelmistä, eikä nykyaikaisilla vastaanottimilla ole mitään tekemistä näiden piirien kanssa.

B.1.d Eräitä varhaisia virstanpylväitä

Tammikuu 1900: Maailman ensimmäinen käytännöllinen radioyhteys, joka muodostettiin Suomenlahden Suursaaresta (Hogland) Kuutsalon saareen (lähellä Kotkan kaupunkia), etäisyys noin 40 km. Suomi oli tuolloin osa Venäjää. Molemmat asemalaitteet rakennettiin venäläisen fyysikon Aleksanteri Popovin ohjeiden mukaan. Lähetin oli tietysti kipinälennätin.

Merivoimien "Kenraali-Amiraali Apraksin"-alus ajoi karille Suursaarella marraskuussa 1899. Kun Apraksin oli lopulta vapautettu kivistä huhtikuun 1900 lopulla, Suursaaren asema oli välittänyt 440 virallista lennätinsanomaa. Apraksinin miehistön lisäksi pelastettiin langattomasti lähetettyjen avunpyyntöviestien seurauksena yli 50 Suomenlahden ajojälle juuttunutta suomalaista kalastajaa.

Joulukuu 1901: Guglielmo Marconin ensimmäinen Atlantin ylittävä lähetys Poldhusta (Cornwall, Englanti) Signal Hilliin (St. John's, Newfoundland, Kanada).

Huhtikuu 1912: Titanicin uppoaminen. Muiden alusten (mm. Carpathia ja Californian) lähettämät jäävaroitukset eivät lainkaan kiinnostaneet Titanicin kipinäoperaattoreita, jotka käskivät heitä lopettamaan häirinnän. He välittivät vain maksettuja viestejä Titanicin matkustajien ja mantereen välillä. Nuo operaattorit työskentelivät Marconin yhtiölle. He eivät olleet Titanicin omistajan, Five Star Line-yhtiön palveluksessa.

1914: Leo Lindell, kutsumerkki LOL (myöhemmin OH1NA ja OH2NA) loi Suomen ensimmäisen radioamatööriliikkeen koulutoverinsa Viljo Volmar Valtasen kanssa sekä sähkötti Turusta Naantaliin vuonna 1916.

11 joulukuuta 1921: Ensimmäinen Atlantin ylittävä radioamatöörilähetys 1BCG:ltä (Greenwich, Connecticut, USA) Ardrossan:iin (Skotlanti). 1BGC käytti lähetintä, jonka ottoteho oli 990 W (lähetehtöteho luultavasti 450 W paikkeilla) noin 1.3 MHz:llä (lähellä nykyistä 160 metrin bandia).

11 huhtikuuta 1964: Ensimmäinen täydellinen, 2-suuntainen Atlantin ylittävä radioamatööri-QSO EME:n kautta ("kuuheijastus", maa-kuu-maa) 144 MHz taajuudella (2 m bandi): W6DNG, Long Beach, Kalifornia, USA <-> OH1NL, Nakkila, Suomi.

B.2 Joitakin antennijärjestelmän perusteita

Jokainen radio-operaattori (amatöörit ja muut) tarvitsee "antennijärjestelmän" lähettimen tuottaman suurtaajuustehon muuntamiseen säteileväksi suurtaajuusenergiaksi, jonka muut asemat voivat vastaanottaa. Jopa matkapuhelin on lähetin/vastaanotin, mutta niissä antenni on kännykän sisällä. Antennijärjestelmän rakentamiseen on lukemattomia tapoja ja joillakin niistä on parempi hyötysuhde kuin toisilla. Tässä tapauksessa hyötysuhde tarkoittaa sitä, miten suuren osan lähettimen lähtötehosta antenni itse asiassa säteilee. **Antennijärjestelmässä on aina häviöitä:**

- Hyvän antennijärjestelmän hyötysuhde on lähes 100 % (yleensä noin 98 %). Silloin esimerkiksi 100 W lähetintehosta antenni säteilee 98 W ja vain 2 W hukataan, enimmäkseen lämpönä. Tässä tapauksessa antennijärjestelmän häviöt ovat vain -0.088 dB.
- Huonon antennijärjestelmän hyötysuhde on paljon heikompi. Esimerkiksi erittäin huonossa tapauksessa antenni säteilee vain 1 W:in 100 W lähetintehosta ja häviöihin hukkuu 99 W, enimmäkseen lämpönä. Tässä tapauksessa antennijärjestelmän häviöt ovat erittäin korkeat, -20 dB.
- Huomaa, että antennijärjestelmän hyötysuhde on sama molempiin suuntiin, eli sekä vastaanotossa että lähetyksessä.
- Yllä olevasta näkee, että antennijärjestelmän hyötysuhteen tulisi aina olla mahdollisimman hyvä, mutta riippuu tietenkin myös siitä, mitä todella tarvitaan. Jos halutaan ainoastaan pitää yhteyttä muutaman kilometrin päässä oleviin kavereihin, eikä haluta DX-yhteyksiä, ei ole mitään väliä kuinka hyvä tai huono hyötysuhde antennijärjestelmällä on.

Antennijärjestelmän tehokkuutta voivat heikentää monet tekijät, kuten:

- Syöttöjohdossa (usein 50 Ω koaksiaalikaapeli) on aina sisäinen häviö, joka riippuu kaapelin tyypistä, kaapelin pituudesta ja käyttötaajuudesta.
- Antennijärjestelmän huono sovitus. Jos itse antennilla ei ole 50 Ω resistiivistä impedanssia, on antennijärjestelmä sovitettava niin, että lähetin "näkee" 50 Ω resistiivisen kuorman. Kaikissa sovituspiireissä on häviöitä.
- Itse antennin häviöt. Nämä voivat johtua esimerkiksi huonolaatuisista tai sopimattomista materiaaleista, huonoista liitoksista eri antenniosien välillä tai jopa huonosta antennin suunnittelusta.
- Antennin korkeus maanpinnasta. Jos antenni on alle 1/4 aallonpituuden korkeudella maanpinnasta, häviöitä voi syntyä kahdella tavalla: 1) "Oikea" maa on aina häviöllinen, joten (pieni) osa suurtaajuussäteilytehosta katoaa lämpönä maahan. 2) Antennin maksimisäteily suuntautuu monta astetta (esim. 15° ... 20°) horisontin yläpuolelle, mikä ei ole lainkaan hyvä DX-yhteyksiä ajatellen.

- Antenni on lähellä muita sähköä johtavia materiaaleja, kuten sähkö- ja puhelinlinjat, betoniraidoitus, metallikatto, sadevesikouru jne. Jopa puun oksat johtavat sähköä, varsinkin märkinä. Nämä "imevät" osan antennin säteilytehosta.
- Mikä hyvänsä yllä mainituista erillisistä häviöistä (ja mahdollisesti myös muista) voi olla melko pieni, mutta yhteenlaskettu kokonaishäviö saattaa olla merkittävä. Esimerkiksi:
 - -1 dB kokonaishäviö merkitsee, että 20.6% (n. 1/5) lähettimen tehosta menee muualle, eikä säteile antennista.
 - -2 dB kokonaishäviö merkitsee, että 36.9% (yli 1/3) lähettimen tehosta menee muualle, eikä säteile antennista.
 - -3 dB kokonaishäviö merkitsee, että puolet (50%) lähettimen tehosta menee muualle, eikä säteile antennista.

Näyttää siltä, että monet radioamatöörit eivät ole ymmärtäneet kaikkien antennien peruseräilyä: Tehokkainta suurtaajuussäteilyä varten **antennin itsensä on oltava resonanssissa. Resonanssiantennin kokonaispituus on aina 1/2 sähköistä aallonpituutta** tai sen kerrannainen. Kun antenni on resonanssissa, sen syöttöpisteessä ei ole reaktanssia ($\pm j = 0 \Omega$). Siinä on ainoastaan impedanssin resistiivinen osa ($R \Omega$). Tämä on tärkein tekijä tehokkaasti säteilevän antennin kannalta. Tarkka syöttöpisteen resistanssi ei ole tärkeä. Se voi olla muutamasta ohmista useisiin satoihin ohmeihin. Silloin sovitusta esimerkiksi 50Ω syöttöjohtoon voidaan helposti tehdä suurtaajuus-impedanssimuuntajalla, joita usein kutsutaan "baluniksi" tai "un-un:iksi". Pari esimerkkiä resonanssiantenneista:

- Keskeltä syötetyssä dipolissa (tai inverted-V:ssä) on oltava täsmälleen sama **sähköinen 1/4 aallon mitta** johtoa (tai muuta metallia) molemmille puolille syöttöpisteestä, jotta antenni on resonanssissa.
- Vertikaaliantennin on oltava **sähköisen 1/4 aallon** korkuinen ja siinä on oltava syöttöpisteestä vähintään neljä **sähköisen 1/4 aallon mittaista** "radiaalia" (= suurtaajuusmaa), jotka muodostavat dipolin toisen puoliskon ja saavat antennin resonanssiin.

Tarkka aallonpituus **ilmassa tai avaruudessa** voidaan laskea tarkasta taajuudesta seuraavasti: $\lambda = v / f$, jossa:

- " λ " on aallonpituus metreinä.
- " v " on suurtaajuussignaalin nopeus. Tässä tapauksessa nopeus on valon nopeus, eli 299'792'458 m/s. Se on hyvin lähellä 300'000 km/s.
- " f " on tarkka taajuus hertzeinä (Hz), **ei MHz!**
- Antennilaskelmia varten kaava voidaan yksinkertaistaa:
 - Aallonpituus metreinä = $300 / \text{MHz}$, mukaan luettuna vähintään 3 desimaalia
 - Aallonpituus jalkoina = $984 / \text{MHz}$, mukaan luettuna vähintään 3 desimaalia
 - Lopputuloksen virhe on äärimmäisen pieni, eikä sillä ole merkitystä käytännön antennisuunnittelussa.
 - Huomaa, että ylläolevat kaavat antavat tulokseksi yhden täyden aallonpituuden, joten jaa lopputulos 2:lla esim. dipolin kokonaispituutta varten.

Sähköinen aallonpituus ei ole sama kuin suurtaajuussignaalin aallonpituus ilmassa! Kaikki muut väliaineet, kuten antennilanka, koaksiaalikaapeli, avolinja jne. hidastavat signaalin nopeutta. Taajuus pysyy aina samana, mikä tekee aallonpituudesta lyhyemmän metreissä mitattuna. Vapaan tilan aallonpituuden ja sähköisen aallonpituuden välinen ero on väliaineen **nopeuskerroin** (velocity factor), joka ilmaistaan prosentteina tai desimaalilukuna suhteessa vapaan tilan aallonpituuteen. Fyysistä (= sähköistä) aallonpituutta tarvitaan kaikenlaisiin antennijärjestelmien laskelmiin, kuten antennielementtien pituuksiin, syöttöjohtojen pituuksiin, viiritysstubien pituuksiin ja paikkoihin, impedanssin sovituslinjojen pituuksiin jne. Pari esimerkkiä joistakin väliaineista:

- Ilma ja avaruus: 100% tai 1.00
- Dipoliantennin lanka: n. 95% tai 0.95, mutta vaatii yleensä korjausta ylös- tai alaspäin.

Mitä tulee itse antenneihin, niiden elementtien sähköiseen pituuteen ja sijaintiin vaikuttavat taajuudesta lasketun aallonpituuden lisäksi monet muutkin tekijät, kuten:

- Elementin paksuus (aallonpituuden osina).
- Muiden elementtien (heijastin (-met), suuntaaja(t), muiden bandien elementit) läheisyys monielementtisissä antenneissa.
- Elementtien asennustapa puomiin (eristetty, kytketty, puomin läpi jne.).
- Maan (todellisen ja/tai maatasen) läheisyys.

- Muiden johtavien materiaalien läheisyys (sähkö- ja puhelinlinjat, antennimasto, metallikatto, -kouru, -viemäri, -vesijohto, betonirauditus jne.). Jopa puiden oksia pidetään suurtaajuusmielessä johtavina, varsinkin kun ne ovat märkiä.
- Elementin ohentaminen päitä kohti.
- jne.

Monielementtisen ja varsinkin monialueantennin suunnittelu on melkoista työtä. Menneinä aikoina antennit suunniteltiin yksinkertaisilla kynä + paperilaskelmilla (tai käyttämällä laskutikkua, kuvassa alla on minun viimeiseni 1960-luvun lopulta) sekä "katkaise ja testaa"-menetelmillä, mihin kului paljon aikaa (kuukausia tai jopa vuosia). Lopputulos ei aina ollut paras mahdollinen, koska jossakin vaiheessa suunnittelija joutui päättämään, että antenni oli "tarpeeksi hyvä". USA:n National Bureau of Standards (NBS, Standardoinnin Kansallinen Toimisto) teki kokeellisen suurtyön jagi-antennien mitoittamiseksi. Heidän raporttinsa julkaistiin 1976 (kts. esim. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/TN/nbstechnicalnote688.pdf>). Tuohon raporttiin perustuvia antenneja tehdään vielä tänäkin päivänä (2024).



Onneksi antennisuunnittelua varten on nykyään saatavilla tietokoneohjelmia (antennien simulaatio-ohjelmia), jotka yksinkertaistavat (ja nopeuttavat) suunnitteluprosessia huomattavasti. Yleensä simuloidut tulokset pitävät hyvin paikkansa myös tosielämässä, kunhan kaikki ohjelman asetukset tehdään antennin todellisen rakenteen ja asennustilanteen mukaan, kuten materiaalit ja niiden paksuudet, asennuskorkeus, maaperän tyyppi/johtavuus jne. Olen suunnitellut monia erilaisia antenneja ja antenniryhmiä HF:lle ja VHF:lle käyttämällä ilmaista MMANA-GAL-ohjelmaa (saatavilla osoitteesta <http://gal-ana.de/basicmm/en/>), eikä mitään muutoksia ole tarvinnut tehdä rakentamisen jälkeen. Saatavilla on monia muitakin antennien simulaatio-ohjelmia, kuten EZNEC, NEC-Win Pro, 4nec2 jne.

Korkealaatuiset kaupalliset antennit voivat olla melko kalliita lukemattomien tuntien suunnittelu- ja testaus-työn sekä korkealaatuisten materiaalien vuoksi. **Saat sitä mistä maksat!** Jo kouluaikoina matikanopettajani sanoi, että "köyhällä ei ole varaa ostaa halpaa". Ole erittäin varovainen e-bay:ssä ja muissa vastaavissa paikoissa myytävien antennien suhteen. Varmista, että ymmärrät mitä he myyvät. Ja muista, että et voi mitenkään tietää kertooko myyjä antennista kaiken ja onko kaikki hänen sanomansa totta!

Antenni voi normaalisti olla resonanssissa vain yhdellä (1) taajuudella, joten esimerkiksi dipoli on yhden alueen antenni, joka on resonanssissa suunnilleen bandin keskellä ja siinä on jonkin verran reaktanssia (SWR) alueen reunoilla. Toivon mukaan reaktanssit ovat riittävän pieniä, jotta antennin SWR-kaistanleveys (esim. enintään 1.2:1 tai 1.5:1) kattaa koko bandin. Tämä koskee kaikkia taajuuksia 160 metrin alapäästä VHF-, UHF- ja ylemmille taajuuksille. Jos poiketaan sähköisen 1/2 aallonpituuden mitasta, antenni ei ole resonanssissa ja sillä on aina jonkin verran reaktanssia (+ tai - j Ω) syöttöpisteessä. Sellaista lanka-antennia ei pitäisi kutsua "dipoliksi" vaan "dubletiksi". Silloin tarvitaan jonkinlainen L/C-sovituspiiri kumoamaan reaktanssi ja sovittamaan antenni **resistiiviseksi 50 Ω :ksi lähetintä varten**. Sovituspiiri voi olla kiinteä jollekin tietylle antennille tai esim. "antenniviritin". **Huomaa, että joskus nämä L/C-sovituspiiritkin ovat melko kapeakaistaisia eivätkä välttämättä kata koko HF radioamatöörialuetta samoilla asetuksilla.**

SWR-mittari näyttää antennin reaktanssin ja resistanssin epäsovituksen 1.00:1:tä korkeampana SWR-lukemana. "SWR" tarkoittaa "Standing Wave Ratio" eli "Seisovan Aallon Suhde".

Jos SWR-mittari (tai itse asiassa sen **mittasilta**) sijaitsee esimerkiksi transceiver'in vieressä tai jopa sen sisällä, kuten tilanne usein on, ja antenni on kytketty siihen koaksiaalikaapelilla, mittarin näyttämä SWR ei ole epäsovitusilanteessa juuri koskaan itse antennin SWR. Tämä johtuu siitä, että **kaikki mitä on SWR-mittarin ja antennin välillä, mukaan lukien syöttöjohto, L/C-sovituspiiri, baluni, liittimet jne., toimivat impedanssimuuntajina**. Tämä on yksi niistä syistä (korkeampien syöttöjohtohäviöiden jne. lisäksi), miksi antennin impedanssin tulee "näkyä" syöttöjohdon antennin puoleisessa päässä (mahdollisen antennin ja syöttöjohdon välissä olevan balunin jälkeen) aina samana, kuin mikä on syöttöjohdon impedanssi (usein 50 Ω). Tästä säännöstä voidaan poiketa tiettyntyyppisten monialueantennien kanssa, joita syötetään suuri-impedanssisilla (ja vähähäviöisillä) syöttöjohdoilla, kuten pari- tai avolinjalla. Huomaa, että normaali 50 Ω SWR-mittari ei voi mitata SWR:ää suuri-impedanssisessa linjassa. Sitä varten on rakennettava erityinen SWR-mittari.

Toisaalta, mitä lähettimeen tulee, sen tulisi aina "nähdä" suunnilleen 50 Ω resistiivinen kuorma. Useimmat linukat ja transceiverit pystyvät kyllä toimimaan täydellä teholla ainakin 1.5:1 tai 2.0:1 SWR kuormaan. Tämä tarkoittaa sitä, että lähtimen "näkemä" impedanssi voi olla 33 ... 75 Ω (1.5 SWR) tai 25 ... 100 Ω (2.0 SWR). Monissa tapauksissa lähtimen sisäinen suojaus alentaa lähtötehoa automaattisesti, jos SWR ylittää kyseiseen laitteeseen suunnitellun raja-arvon.

Periaatteessa, mitä enemmän antennissa on elementtejä, sitä kapeampi on sen SWR-kaistanleveys. Tämä johtuu siitä, että jokainen antennielementti on eräänlainen kaistanpäästöresonaattori ja tietenkin useammat resonaattorit johtavat kapeampaan kaistanleveyteen, aivan kuin L/C-suotimessa. Suunta-antenni (jagi, quadi jne.) voidaan kuitenkin suunnitella niin, että sen kaistanleveys on riittävä kattamaan koko bandi tarpeeksi pienin reaktanssein (= SWR) alueen reunoilla. Tämä tehdään säätämällä apuelementtien (heijastin, suuntaajat) pituutta ja paikkaa halutun tuloksen saavuttamiseksi. Tämä muistuttaa moniresonaattorisen L/C-suotimen hajaviritystä. Siitä kuitenkin seuraa, että esimerkiksi antennin vahvistus ei voi olla aivan yhtä hyvä kuin se olisi 1-resonanssisissa antennissa. Yleensä vahvistus pienenee vain n. -0.1 ... -0.2 dB, joten hieman pienempi vahvistus kompensoituu paljon suuremmalla kaistanleveydellä.

HF:lle on rakennettu monia erilaisia monialueantenneja (trapeilla, rinnakkaiselementeillä jne.), mutta ne ovat aina kompromisseja antennin eri parametrien kesken, kuten impedanssi ja vahvistus eri bandeilla, tehonkestävyys, mekaaninen lujuus jne. Epämääräisen mittaisia lanka-antenneja, kuten dubletit, epäsymmetriset (OCF), päästä syötetyt jne. käytetään myös paljon kattamaan monia HF radioamatöörialueita. Näiden syöttö tapahtuu yleensä suuri-impedanssisilla parijohdoilla ja sovitukseen käytetään antenniviritintä.

Huomaa, että kaupallisten antennivalmistajien ilmoittamat vahvistus- ja SWR-lukemat eivät välttämättä pidä paikkaansa tosielämässä, sillä esimerkiksi:

- Ei ole mahdollista tietää, miten ja millaisessa asennuksessa antenni (mukaan lukien sen säteilykuvio) on mitattu.
- Ovatko he itse asiassa tehneet todellisia mittauksia? Vai onko julkaistut arvot kopioitu jostain antennien simulaatio-ohjelmasta, jossa asetukset on tehty antennin parhaan mahdollisen suorituskyvyn mukaisesti asennuksesta riippumatta?

Tosiasiata on, että **fysiikan lait rajoittavat jokaisen tietyn kokoisen ja muotoisen antennin tehovahvistusta. Minkäänlaista "ihmeantennia" ei ole olemassa!** Pari huonoa esimerkkiä:

- Joku myi antenneja, joiden SWR oli 1.0:1 koko taajuusalueella 1.5 MHz - 30 MHz. Todellisuudessa nuo antennit eivät säteileet tai vastaanottaneet juuri mitään, koska ne olivat vain keinokuormia, joissa oli 50 Ω vastus järjettömän lyhyen säteilijän syöttöpisteessä.
- Erään suunta-antennin vahvistus speksattiin kohtuuttoman suureksi, kun se asennettiin tietylle (matalalle) korkeudelle maanpinnasta. No, jossain mielessä ilmoitettu vahvistus saattoi pitää paikkansa maaheijastuksen takia, mutta heiltä jäi mainitsematta, että maksimisäteily suuntautui noin 12-15 astetta horisontin yläpuolelle, mikä ei sovi lainkaan DX-yhteyksiin.

Jotta vertailua varten olisi yksi, luotettava referenssi, kaikki antennien tiedot tulisi antaa vain "vapaa tilan asennukselle", koska se on ainoa vakio, joka pätee kaikkiin antenneihin. Valitettavasti näin ei useinkaan ole. Yleistä lausuntoa, joka soveltuu jokaiseen **antenniasennukseen**, ei saisi koskaan antaa. Antennivalmistaja ei voi tietää kenenkään asiakkaansa aseman asennustilannetta. Lukemattomat tekijät vaikuttavat jokaisen antennin suorituskyvyn lopullisessa asennuspaikassa.

Monissa monialueisissa suunta-antenneissa on eri määrä elementtejä eri bandeille, mutta usein niitä mainostetaan vain elementtien kokonaismäärällä. Tämä antaa ehdottomasti väärän vaikutelman mahdollisille ostajille (enemmän elementtejä tarkoittaa teoriassa enemmän vahvistusta). Kun arvioit tällaisen antennin todellista vahvistusta, älä laske elementtien kokonaismäärää, koska niitä ei kaikkia käytetä kaikilla bandeilla. Laske vain kullakin bandilla käytetyt elementit erikseen. Lisäksi monialueantenni on aina kompromissi, koska käyttämättömien bandien elementit kuormittavat ja epävirittävät käytetyn alueen elementtejä, joten kaikkien elementtien pituudet ja paikat on täytynyt sovitaa antennin suunnitteluvaiheessa. Tämä tarkoittaa lähes aina sitä, että joistain antenniparametreista (vahvistus, etu/taka-suhde, SWR, säteilykuvion muoto jne.) on jouduttu tekemään kompromisseja, jotta antenni toimisi kaikilla tarkoitetuilla bandeilla. Käytännössä monialueisissa suunta-antenneissa on yleensä vähemmän vahvistusta kuin yhden alueen antennissa, jossa on sama määrä (bandikohtaisia) elementtejä.

Nyrkkisääntö: 2-elementtisen jagin tehovahvistus on suunnilleen +3 dBd ja 2-elementtisen quadin n. +6 dBd. Aina, kun **elementtien määrä kaksinkertaistetaan** (muodosta riippumatta), saadaan 3 dB lisää vahvistusta. Niinpä 4-elementtisen jagin vahvistus on n. +6 dBd ja 4-elementtisen quadin n. +9 dBd. Nuo lukemat eivät ole kovin tarkkoja ja näiden nimenomaisten antennien todellinen vahvistus on jonkin verran (1 - 2 dB) suurempi, mutta arvioitu vahvistus saadaan näin riittävän lähelle vertailutarkoituksiin.

Antenneissa, joissa on jonkin verran vahvistusta (mukaan lukien jopa lankadipoli), pääsuunnan lisääntynyt säteilyteho saavutetaan aina vähentämällä säteilyä muihin suuntiin eli "siirtämällä säteilytehoa muista suunnista pääsuuntaan". Tämä tehdään antennin elementtien sähköisellä vaiheistuksella, ts. säätämällä elementtien pituutta ja paikkaa.

Mahdollisten sekaannusten välttämiseksi on "dB"-arvoille yksinkertainen nyrkkisääntö:

- +3 dB (tai yksinkertaisesti "3 dB") tarkoittaa sitä, että antennin säteilyteho **säteilykuvion maksimin suuntaan** on tasan 2 kertaa lähettimen lähtöteho.
- +6 dB (tai yksinkertaisesti "6 dB") tarkoittaa sitä, että antennin säteilyteho **säteilykuvion maksimin suuntaan** on tasan 4 kertaa lähettimen lähtöteho.
- Ja niin edelleen. Aina kun vahvistukseen lisätään +3 dB, säteilyteho **säteilykuvion maksimin suuntaan** kaksinkertaistuu edelliseen verrattuna.
- Kun antenneista on kyse, **"dB"-arvot koskevat aina tehovahvistusta** (tai vaimennusta negatiivisen dB:n, kuten "-3dB", tapauksessa). Se ei ole jännite- eikä virtovahvistus. Säteilyteho muille vahvistusarvoille (dB) voidaan laskea kaavalla: $P_2 = P_1 \times 10^{(dB/10)}$, jossa:
 - "P2" on antennin säteilyteho **säteilykuvion maksimin suuntaan**.
 - "P1" on lähettimen lähtöteho, joka pääsee antenniin (eli miinus syöttöjohdon häviö jne.).
 - "dB" antennin tehovahvistus (tai häviö) dB:nä.
- Huomaa, että säteilyteholaskelmien kannalta ei ole väliä, kuinka dB-arvo on ilmoitettu:
 - "dB" = Valmistaja ei ole määritellyt vertailuantennia "vahvistusmittauksiin".
 - "dBd" = Antennin vahvistus on määritelty verrattuna 1/2 aallon mittaisen resonanssidipolin vahvistukseen.
 - "dBi" = Antennin vahvistus on määritelty verrattuna isotrooppisen (teoreettisen) antennin vahvistukseen.
 - Vahvistuksen "dBd"-arvo on **aina** +2.14 dB korkeampi kuin "dBi"-arvo **säteilykuvion maksimin suuntaan**. Jos antennin valmistaja väittää jotain muuta, lausunto ei voi pitää paikkaansa!
- **"Säteilykuvion maksimin suunta"** voi ainakin teoriassa olla mihin hyvänsä suuntaan pallonmuotoisen tilan keskipisteestä. Se ei välttämättä tarkoita haluttua suuntaa horisonttiin.
- Huomaa, että vahvistus- (tai vaimennus-) arvot pätevät molempiin suuntiin, eli antennin vahvistus on sama säteilykuvion maksimin suuntaan sekä lähetyksessä että vastaanotossa.

B.3 Antennin korkeus

Yleisesti ottaen **vaaka-antenni** (lanka- tai suunta-antenni) tulee asentaa mahdollisimman korkealle, jotta pystysuuntainen säteilykulma on pieni. Mitä matalammalla antenni on, sitä suurempi on sen pystysuuntainen säteilykulma horisontin yläpuolelle. Antennin korkeuden tulee olla vähintään 1/4 vapaan tilan aallonpituutta maanpinnan tai minkä tahansa metallin (kuten maataso, betoniraidoitusteräs jne.) yläpuolella. Mieluummin korkeuden tulisi olla vähintään 1/2 aallonpituutta pienemmän pystysäteilykulman ja parempien DX-yhteyksien saavuttamiseksi.

Antennin korkeus voi kuitenkin olla käytännöllinen ongelmia varsinkin alemmilla HF-alueilla (160 m - 30 m). 1/4 aallonpituus 160 m bandilla on noin 40 metriä ja 1/2 aallonpituus noin 80 metriä! 80 m bandilla 1/4 aallonpituus on noin 20 metriä ja 1/2 aallonpituutta 40 metriä! Ylempillä HF-alueilla (20 m - 10 m) antennit voidaan yleensä asentaa riittävän korkealle käyttämällä putki- tai kolmiomastoja. VHF- ja UHF-bandeilla antennin korkeus ei yleensä ole ongelma, koska ne voidaan helposti asentaa useiden aallonpituuksien korkeudelle. Esimerkiksi 2 m alueella 5 aallonpituutta on noin 10 metriä ja 70 cm alueella 10 aallonpituutta on noin 7 metriä.

Periaatteessa "matalalle" (aallonpituuksissa) asennetun antennin maaheijastus korottaa maksimisäteilyn pystykulmaa monta astetta (esim. 10° - 15°) horisontin yläpuolelle, mikä ei ole kovin hyvä juttu DX:iä ajatellen. Se voi myös lisätä antennin säteilyvahvistusta kohti säteilyn maksimia. Tuo riippuu paljon maan tyypistä, mukaan lukien sen johtavuus. Maksimisäteilyn pystykulma tulee aina pitää mahdollisimman pienenä (mieluiten horisonttia kohti) DX-yhteyksiä varten. Ionosfääriheijastus (HF) tai muut heijastustavat (VHF, UHF ja ylempänä) ovat yleensä parhaimmillaan, kun signaalin tulokulma heijastavaan kerrokseen on mahdollisim-

man pieni. Huomaa, että ei ole mitään järkeä yrittää saada pystysuuntaista säteilykulmaa horisontin alapuolelle, koska maa estää signaalin etenemisen. Ei ainakaan DX-yhteyksiä varten.

Pystyantennit asennetaan yleensä maahan tai joskus nostetaan jollekin korkeudelle tukimaston avulla. Niiden tarvitseman maatason vuoksi pystysuora säteilykulma on melko pieni, maksimi yleensä noin 3° - 5° horisontin yläpuolelle.

QTH:si korkeudella merenpinnasta voi olla merkittävä vaikutus horisontin etäisyyteen. Mitä kauempana horisontti on, sitä matalampi on saapumiskulma heijastuskerrokseen, mikä tarkoittaa huomattavasti parempia DX-asemien signaaleja. Esimerkiksi:

- 20 m korkea antenni merenpinnan tasolla: Horisontti on noin 16 km päässä.
- 20 m korkea antenni 100 m merenpinnan yläpuolella (minun antennieni korkeus täällä Kreetalla): Horisontti on noin 39 km päässä.
- 20 m korkea antenni 200 m merenpinnan yläpuolella (radioamatööriystäväni antennien korkeus täällä Kreetalla): Horisontti on noin 53 km päässä.

Kuten ylhäältä näet, mitä korkeammalla QTH sijaitsee, sitä kauempana horisontti on ja sitä paremmat DX-signaalit saat. Tämä edellyttää tietysti, että antennisi maksimisäteily on kohti horisonttia ja ettei horisontin suuntaan ole mitään (kuten rakennuksia, kukkuloita tai vuoria), jotka estäisivät tai heijastaisivat signaalia. Yllä olevat etäisyydet on laskettu osoitteessa <https://www.ringbell.co.uk/info/hdist.htm>.

Yleensä "hyppyetäisyys" HF-alueilla on noin 3000...6000 km, riippuen heijastuskerroksen korkeudesta halutussa suunnassa ja haluttuna aikana. Korkeus vaihtelee jatkuvasti (150 ... 800 km). "Hyppyetäisyys" tarkoittaa yhtä radiosignaalin loikkaa TX-asemalta seuraavaan kohtaan, jossa se osuu maahan:

- Usein signaali voi pomppia useita kertoja maan ja ionosfääriin välillä ennen kuin se pääsee vastaanottoasemalle ja jokainen hyppy on yllä mainitun etäisyyden sisällä.
- Jos et saa yhteyttä halutulle (kaukaiselle) alueelle, joskus DX-yhteys saadaan aikaan kääntämällä antenni vastakkaiseen suuntaan. Tätä kutsutaan "pitkän tien etenemiseksi" (long path), koska signaalit kulkevat pidemmän matkan maapallon ympäri.
- Joissakin (harvinaisissa) tapauksissa signaali voi jopa kiertää koko maapallon yhden tai useamman kerran, jolloin lähettävä asema voi vastaanottaa oman viivästyneen signaalinsa (varsinkin CW:llä). Näitä signaaleja kutsutaan "viivästyneiksi kaiuiksi" (long delayed echo).

Ionosfääriheijastuksen vuoksi HF-alueilla on usein melko suuri "kuollut alue" (dead zone) noin puolessa välissä hyppyetäisyyttä (keskipiste noin 1500 ... 3000 km päässä). Tämä johtuu siitä, että antennin säteilemä "pinta-aalto" ei pääse niin pitkälle ja "taivasaalto" hyppää kyseisen alueen yli. Joten sinne ei voi ottaa yhteyttä. "Kuolleen alueen" koko ja sijainti vaihtelevat paljon yleisestä suurtaajuussignaalien etenemisestä riippuen.

C. Antennin valinta ja sijoittaminen

Yleisesti ottaen ei ole väliä millainen antenni sinulla on, kunhan pystyt syöttämään siihen suurtaajuustehoa ja pystyt vastaanottamaan sillä muita asemia. Jokainen antenni on aina kaksisuuntainen, ts. se toimii sekä lähetyksessä että vastaanotossa. Miltei mikä tahansa sovitettu antenni (jopa pieni viritetty rengas) säteilee lähetystehoa melko tehokkaasti, mutta suurempi (eli normaalin kokoinen) antenni, kuten lanka tai dipoli on usein parempi vastaanotossa sen suuremman "sieppausalueen" vuoksi. Tuo ei kuitenkaan välttämättä riitä kilpailuihin tai vakavaan DX-workkimiseen ja silloin tarvitaan kääntyvä suunta-antenni.

Useimmille meistä antennin tyyppiä ja asennuspaikkaa rajoittavat enimmäkseen muut tekijät kuin itse antenni. Esimerkiksi:

1. **Tontin koko.** Yleensä ei voida asentaa pitempää HF alueen lanka-antennia, kuin on tontin pisin mitta. Usein antennin on oltava sitäkin lyhyempi esteiden (rakennukset jne.) ja/tai tukipisteiden (esim. puut) puutteen vuoksi. Huomaa, että esimerkiksi 80 metrin resonanssidipoli on noin 40 metriä pitkä ja 160 metrin resonanssidipoli noin 80 metriä pitkä! Jos sinulla on ystävällinen naapuri, antennia voi mahdollisesti jatkaa hänen puolelleen, mutta useimmiten näin ei ole.

2. **Antennin mekaaninen koko.** Monialueinen, suurivahvistuksinen, täysikokoinen HF suunta-antenni on paljon isompi kuin eräät muuntotyypiset antennit (kuten vertikaalit) ja sen asentaminen vaatii huomattavasti tilaa (masto + harukset). Antennin koolla on myös suora vaikutus sen tukirakenteeseen painon ja QTH:n pahimpien myrskyjen aiheuttaman tuulikuorman takia. Suomessa usein myös lumi ja erityisesti jää (= lisä-paino ja suurempi tuulikuorma) voivat vaarantaa itse antennin, maston, antenninkääntäjän jne.
3. Mahdolliset antennien **aluerajoitukset.** Onneksi meillä Euroopassa ei ole mitään sellaista, mutta tämä saattaa olla ongelma joissakin muissa maissa. Euroopassa luvan omaavalla radioamatöörillä on aina laillinen oikeus asentaa antenni riippumatta siitä, mitä muut ihmiset sanovat, kunhan se täyttää paikalliset mekaaniset ja sähköiset turvallisuusmääräykset.
4. **Suurtaajuussäteilyn taso yleisölle.** HF-alueilla suurtaajuussäteily ei yleensä ole ongelma (mahdollisesti maahan asennettuja vertikaaleja lukuun ottamatta), ei edes lineaarista vahvistinta käytettäessä, mutta se voi rajoittaa lähetystehoa ja/tai antennin vahvistusta VHF- ja erityisesti UHF- ja korkeammilla taajuuksilla. ICNIRP ("International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection", "Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn suojelukomissio") seuloa ja arvioi tieteellistä tietoa ja viimeaikaisia havaintoja, tarjotakseen suojausohjeita ionisoimattomaan säteilyä, eli radio- ja mikroaaltotaajuuksia, ultraviolettisäteilyä ja infrapunasäteilyä vastaan. Kansalliset viranomaiset yli 50 maassa (mukaan lukien Suomi) ja monikansalliset viranomaiset, kuten Euroopan Unioni, ovat ottaneet käyttöön ICNIRP-ohjeet.

Saatavilla on ilmaisia radioamatöörien tekemiä tietokoneohjelmia, jotka laskevat suurtaajuussäteilyn turvapäätöksiä suurta yleisöä varten. Yksi sellainen on DL9KCE:n "ICNIRPCalc" -ohjelma, jonka voi ladata osoitteesta: <https://www.iaru-r1.org/about-us/committees-and-working-groups/emc-committee-c7/links-to-emc-resources/>.

5. **Lähiperhe.** Esim. minun tapauksessani XYL sanoi "EI ISOA MASTOA" isoilla kirjaimilla - HI. Joten tällä hetkellä minulla on 3 metriä korkea pyörivä putkimasto 2-kerroksisen talomme katolla, joka tukee 6:n bandin HF Hexbeamia, $16 + 29 = 45$ metriä pitkän HF OCF-antennin syöttöpistettä ja 2×4 elementin jagi-ryhmää 2 metrille.
6. **Raha.** Miten paljon käteistä on varauduttu käyttämään antennijärjestelmään, mukaan lukien itse antenni, sen tukirakenne, syöttöjohto, mahdollinen antenninkääntäjä, baluni(t), antenniviritin jne. Usein antenni on edullisempi rakentaa kotona, mutta se riippuu tarvittavien materiaalien hinnasta ja saatavuudesta sekä radioamatöörin kyvystä ja/tai työkaluista rakentaa kyseinen antenni.
7. **Naapureille, omalle perheelle jne. aiheutetut häiriöt.** Yleisesti ottaen radio- ja tv-häiriöt eivät ole nykyään kovin suuri ongelma HF-alueen radioamatöörilähetyksille, koska vain harvat kuuntelevat keskipitkiä aaltoja (AM) ja kaikki TV-lähetykset ovat digitaalisia ja UHF-taajuuksilla (ainakin Euroopassa). Mutta tämä riippuu paljon ULA- ja TV-antennijärjestelmän ja vastaanottimien sijainnista, antennien asennuksesta, laitteiden sisäisestä suojauksesta ja suodatuksista jne. **Joten kysy perheeltäsi ja naapureiltasi, kokevatko he radio- tai TV-häiriötä lähetystesi aikana.** Ja jos niin on, korjaa tilanne ennen kuin suhteet pahe-nevat entisestään.
 - Olen nähnyt digi-TV:n käynnistyvän ja sammuvan sekä vaihtavan kanavaa satunnaisesti vain siksi, että samassa taloudessa asuva hamssi lähetti SSB:tä 100 W:lla 40 metrillä. Tuossa TV:ssä täytyy olla todella huono suojaus/suodatus TV-alueiden ulkopuolisia lähteitä vastaan. Tämä ongelma ratkaistiin asentamalla erilainen hamssiantenni toiseen paikkaan.
 - Minullakin oli ongelma, sillä WSPR-lähetykseni 5 W lähtöteholla kaikilla HF-alueilla ylikuormitti UHF-TV:n ja ULA-antennin mastovahvistimen ja sai TV:n pimenemään. Noissa yksinkertaisissa laajakaistaisissa antennivahvistimissa on varsin keskinkertainen suodatus eri yleisradioalueiden erottamiseksi toisistaan, eikä niiden ulkopuolisiin taajuuksiin (kuten amatööriradio) ole kiinnitetty mitään huomiota. Asia ratkaistiin kotitekoisilla, antennivahvistimen tuloihin asennetuilla L/C-suotimilla, jotka vaimentavat kaikkia HF-taajuuksia reilusti yli -110 dB, mutta päästävät ULA-radion ja UHF-TV:n taajuudet läpi minimaalisella vaimennuksella.
8. **Internet-häiriöt. Suuri ongelma lähetetyille suurtaajuuksille,** erityisesti HF-alueilla, voivat olla erilaiset dataverkkolaitteet, kuten puhelinkaapelit, laajakaistamodemit (DSL = Digital Subscriber Line) ja -reitittimet, Ethernet (LAN) -keskittimet, -kytkimet ja -kaapelit jne., mukaan lukien niiden virtalähteet. Valitettavasti niiden laitteiden suojaus ja suodatus ei ole juuri koskaan riittävän hyvä pitämään ulkoinen suurtaajuussäteily erossa sisuksistaan. Radioamatööriantennin ja dataverkkolaitteiden sijainnista/etäisyydestä riippuen seu-

rauksena voi olla esimerkiksi Internet-yhteyden katkeaminen lähetyksen aikana. HF-lähetyksen päättymisen jälkeen voi kestää useita minutteja, ennenkuin dataverkkolaitteet ovat nollanneet itsensä, käynnistyneet uudelleen ja internet-yhteys taas toimii.

Yleisesti ottaen tähän ongelmaan ei ole helppoja ratkaisuja. Voi yrittää asentaa napsautettavia ferriittipaloja ja kaikkiin laitteiden kaapeleihin, mutta onnistumisesta ei ole takeita. Ethernet-kaapelit ovat usein suojamattomia (tyyppiä UTP = suojaamaton kierretty pari, **Unshielded Twisted Pair**), joten voi olla hyödyllistä korvata ne kaikki suojatuilla kaapeleilla (tyyppiä CAT5 tai CAT6). Pahimmassa tapauksessa voidaan joutua korvaamaan ongelmalliset laitteet vähemmän herkillä tai siirtämään radioamatööriantenni täysin eri paikkaan.

Huomaa, että internet-yhteyden langattomalla osuudella (Wi-Fi jne.) ei yleensä ole HF-häiriöongelmia, koska se toimii 2.4 GHz tai 5 GHz taajuusalueella. Ongelmat liittyvät aina fyysisiin dataverkkolaitteisiin ja niiden kaapelointiin.

9. **Häiriöt radiovastaanotolle.** Suurin ongelma HF radiosignaalien vastaanotolle on nykyään hakkurivirtalähteiden aiheuttamat häiriöt (QRM). Noiden virtalähteiden harmoniset taajuudet voivat kattaa kaikki HF amatöörialueet ja häiritä jopa VHF- ja UHF-taajuuksia. Näitä laitteita ei ole juuri koskaan suojattu ja/tai suodattettu riittävän hyvin pitämään hakkurin harmoniset taajuudet yksiköiden sisällä. Jopa kaikissa energiansäästölamput (loistelamput, LED) on hakkurivirtalähteet, jotka pätkivät verkkovirran suoraan pienemmäksi (tai suuremmaksi) jännitteeksi. On myös monia muita häiriölähteitä, kuten huonot (kipinöivät) liitännät sähkölinjoissa, sähkömoottorit (DC ja AC), sähköhitsauslaitteet jne. Ei-tekniset ihmiset eivät ehkä ole edes tietoisia häiriöistä, mutta se on todellinen ongelma kaikille, jotka käyttävät radiotaajuuksia ainakin 1 GHz:iin saakka.

Esimerkki: Radiotietokoneeni monitorin hakkurivirtalähde (valmistaja Samsung) peitti kaikki HF-alueen bandit (160m - 10m). Kyseinen poweri joutui välittömästi roskeen ja käytän nyt monitoria lineaarisella 13.8 VDC virtalähteellä.

Toinen häiriölähde eräissä maissa on PLC (Power Line Connection). Tämä on järjestelmä, jossa internet reititetään asiakkaille sähkölinjojen kautta. Vastaavia laitteita käytetään myös verkkoyhteyksien laajentamiseen saman talouden sisällä. Monesti on osoitettu että tämäntyyppinen datasiirto on merkittävä häiriölähde hamssisignaalien vastaanotolle (ja mm. eri viranomaisten radioverkoille) ja se voi vaikuttaa useiden kilometrien päähän varsinaisesta sähkölinjasta. Pääsyy on se, että sähköverkot on rakennettu **ainoastaan** siirtämään 50 Hz vaihtovirtaa kotitalouksiin jne. Ne eivät sovellu miltään osin mihinkään "suurtaajuiseen" (esim. 2 ... 30 MHz) siirtoon ja säteilevät esteettä noita taajuuksia. Häiriöiden vuoksi tämäntyyppinen datasiirto on lailla kielletty monissa maissa. En tiedä onko se kielletty myös Suomessa.

Usein vertikaaliantennit keräävät enemmän häiriöitä kuin vaaka-antennit, mutta se vaihtelee. Yleensä symmetriset vaaka-antennit (kuten dipoli tai inverted-V) keräävät vähiten ihmisen aiheuttamia häiriöitä.

Periaatteessa **häiriöt tulisi aina estää niiden lähteessä**. Niiden estoon ei ole luotettavaa tapaa missään muualla, koska häiritsevistä laitteista poistuttuaan häiriö leviää monin eri tavoin ja monia eri reittejä. Häiritsevät laitteet on suhteellisen helppo löytää omalta radioasemalta tai omasta asunnosta: Sammuta vain eri laitteet yksi kerrallaan nähdäksesi milloin häiriö katoaa. Mutta kun kaikilla on kaupungissa tai kylässä näitä laitteita, häiriöt vain summautuvat jatkuvaksi "kohinaksi", joka voi olla tarpeeksi voimakasta estämään muiden, kuin kaikkein vahvimpien radiosignaalien vastaanottamisen. Häiriö leviää suurtaajuussäteilynä, mutta johtuu myös sähkö- ja puhelinlinjoja jne. pitkin, jotka voivat puolestaan säteillä häiriöitä radiotaajuuksilla.

Radiomattoasemalla **häiriöt kerää aina antenni**. Ne eivät pääse transceiverin virtalähteen tai muiden aseman virtalähteiden läpi. Joissakin tapauksissa häiriöitä on mahdollista vähentää asentamalla syöttöjohdon napsautettavia ferriittipaloja yhteismuotokuristimeksi, mutta ne eivät auta läheskään aina.

Saatavilla on myös häiriönvaimennuslaitteita (kuten MFJ 1026, Timewave ANC-4, DX Engineering NCC-2, Wimo QRM-Eliminator, X-Phase QRM Eliminator jne.). Nämä yksiköt ovat periaatteeltaan diversity-vastaanottimia, joissa käytetään kahta antennia: "häiriö"-antenni ja varsinainen amatööriantenni. Yhden antennin suurtaajuushäiriöt invertoidaan (vaihe käännetään 180°) ja halutun tuloksen saavuttamiseksi laitteissa on useita asetuksia. Seuraavaksi noiden kahden antennin suurtaajuussignaalit summataan ja tulok-

sena on (teoriassa) häiriötön lähtösignaali. Laitteesta ja siihen liitetyistä antenneista riippuen häiriöt eivät välttämättä vähene odotetulla tavalla. Nämä yksiköt asennetaan aina antennin (antennien) ja aseman vastaanottimen väliin. Ne saattavat kuitenkin tarvita lisäksi erillisen (ulkoisen), erittäin luotettavan ohituskytken lähetyksestä varten, muuten laite kärkehtää heti ensimmäisen lähetyksen alussa. Huomaa myös, että näiden laitteiden säätäminen on jonkin verran työlästä ja ne on viritettävä uudelleen suunnilleen joka kerta kun taajuutta tai bandia vaihdetaan.

Kun häiriölähde ei ole omassa asunnossasi, sen paikantaminen voi olla erittäin hankalaa, koska se voi olla melko kaukana (jopa useiden kilometrien päässä). Häiriölähdettä voisi yrittää etsiä käyttämällä kannettavaa, tyhjälle taajuudelle säädettyä AM tai SSB lyhytaaltovastaanotinta ja kävelemällä tai ajamalla lähiympäristössä. Vastaanotettu häiriö voimistuu, kun lähestytään häiriölähdettä. Jos lopulta löydät talon, josta häiriö on kotoisin, ongelmasi voivat vasta alkaa. Ko. henkilön ajatusmaailmasta riippuen voit ehkä vakuuttaa hänet, että häiriö on kotoisin ko. talosta, mutta joskus tämä ei ole mahdollista ja jätät omillesi. Jokaisessa maassa on määräyksiä, jotka rajoittavat **kaikkien laitteiden** (ei vain radioiden) ylimääräisten taajuuksien säteilyä ja siirtymistä kaapeleiden kautta. Maasta riippuen voit ehkä ottaa yhteyttä viranomaisiin ja tehdä valituksen. Mutta toimivatko viranomaiset säännösten edellyttämällä tavalla on ihan eri juttu.

C.1 Lanka-antennit

Lanka-antennit ovat olleet käytössä radion syntymästä lähtien ja ne ovat edelleen erittäin suosittuja erityisesti alemmilla HF-bandeilla (160 m - 30 m), sillä niitä on suhteellisen helppo (ja halpa) rakentaa kotona. Yleensä lanka-antenneja käytetään vain HF (ja joskus 6 m) alueilla. VHF:llä ja siitä ylöspäin käytetään jähkkiä antennielementtejä (alumiini- tms. metalliputkea/tankoa, lasikuitua jne.). HF:lle lanka-antenneja on helpompi rakentaa kuin muun tyyppisiä antenneja, mutta ne vaativat vähintään kaksi tukipistettä. Tuet voivat tietysti olla puita tai esimerkiksi putkimastoja.

Teoriassa mitä hyvänsä HF-lanka-antennia voisi käyttää jopa VHF- tai UHF-taajuuksilla, kunhan se voidaan sovittaa ja syöttää siihen suurtaajuustehoa. Toisaalta esimerkiksi 100 mm naula voisi toimia jopa 160 metrilä, mutta erittäin pienen syöttöimpedanssin (ohmin osia) ja erittäin suuren kapasitiivisen (-j Ω) reaktanssin takia se olisi mahdoton sovittaa. Huomaa, että nämä kaksi äärimmäistä esimerkkiä **pätevät vain antennin teoreettiseen sähköiseen toimintaan**. Ne eivät ota huomioon kuinka häviöllisiä ne ovat lähetyksessä tai onko niistä mihinkään vastaanotossa.

Kokeilin vuosikymmeniä sitten piruuttani, miten pienellä antennilla syntyi 2 m FM yhteys Oulunkylästä (Helsinki) Lahteen (etäisyys n. 85 km). Radioni lähtöteho oli 10 W (Icom IC-22) ja kytkin "antennin" raa'asti suoraan radion liittimeen. 4" (100 mm) rautanaulalla yhteys vielä syntyi, mutta 3" (75 mm) naulalla se ei enää toiminut.

Antennilangan tulee olla kuparia tai kuparipäälysteistä terästä resistiivisten häviöiden vähentämiseksi. Ns. **"pintailmiön" (skin effect) vuoksi suurtaajuus "kulkee" aina langan (tai putken) ulkopinnassa** tai esim. koaksiaalikaapelissa keskijohtimen ulkopinnassa ja **vaipan sisäpinnassa**. Niinpä vain metallin ulkopinnan lähellä olevalla resistanssilla on merkitystä. Kuparilla on alhaisin resistanssi (= pienimmät häviöt) yleisesti saatavilla olevista (ja edullisista) metalleista. Alemmat taajuudet (kuten 160 m) tunkeutuvat hieman syvemmälle johtimen metalliin ja korkeammat taajuudet (kuten UHF) paljon vähemmän. Muilla metallilangoilla (kuten teräksellä) on paljon suurempi resistanssi ja ne aiheuttavat signaalihäviöitä sekä lähetyksessä että vastaanotossa. Johdin voi olla myös eristettyä, kuten sähköasennuslanka. Eriste ei vaikuta mitenkään antennin mittoihin tai suorituskykyyn. Paljas (eristämätön) kuparilanka tietysti hapettuu, mutta kuparioksidi on vain hyvin ohut kerros langan pinnalla ja se on erinomainen eriste, joten suurtaajuussignaali vain siirtyy hieman syvemmälle johtimeen pintailmiön takia, mikä ei vaikuta antennin suorituskykyyn.

Se, kuinka syvälle suurtaajuus tunkeutuu johtimen metalliin, **riippuu vain taajuudesta ja itse metallista. Se ei riipu esimerkiksi johtimen paksuudesta tai käytetystä lähetystehosta**. Yleensä suurtaajuuden tunkeutumisvyvyys (skin depth) johtimeen lasketaan tilanteessa, jossa suurtaajuusvirta on pudonnut n. 1/3 osaan siitä, mitä se on johtimen ulkopinnassa. Tätä syvemmällä suurtaajuusvirta pienenee logaritmisesti. Alla olevat esimerkit tunkeutumissyvyydestä on laskettu Internetissä osoitteessa:

<https://www.everythingrf.com/rf-calculators/skin-depth-calculator>:

- **1.8 MHz:** Kupari 48.62 μm , Alumiini 61.15 μm
- **7.0 MHz:** Kupari 24.65 μm , Alumiini 31.01 μm
- **21.0 MHz:** Kupari 14.23 μm , Alumiini 17.90 μm

- **30.0 MHz:** Kupari 11.91 μm , Alumiini 14.98 μm
- **50.0 MHz:** Kupari 9.225 μm , Alumiini 11.60 μm
- **145.0 MHz:** Kupari 5.417 μm , Alumiini 6.813 μm
- **435.0 MHz:** Kupari 3.127 μm , Alumiini 3.934 μm
- **1.3 GHz:** Kupari 1.809 μm , Alumiini 2.276 μm
- **2.35 GHz:** Kupari 1.346 μm , Alumiini 1.692 μm
- **3.4 GHz:** Kupari 1.119 μm , Alumiini 1.407 μm

1 μm = 0.001 mm = 0.000 001 m

Kuten yllä olevasta näkyy, alhaisimmilla taajuuksilla tarvittavat johtimet voisivat **teoriassa** olla hyvin ohuita, esim. 0.1 mm, mutta käytännössä noin ohuet johtimet eivät kestäisi minkäänlaisia mekaanista tai sähköistä (lähetysteho) rasituksia. Toisaalta VHF-, UHF- ja korkeammilla taajuuksilla johtimien tulee olla suhteellisen paksuja (esim. putki), koska suurtaajuus "kulkee" paljon ohuemmassa kerroksessa johtimen pinnassa ja sen todellisuudessa käyttämän metallin "poikkileikkausta" on kasvatettava resistiivisten häviöiden pitämiseksi alhaisina.

Huom! Älä anna joidenkin johdinmyyjien väitteiden "happivapaan kuparin" korkeammasta laadusta tai paremmasta johtavuudesta hämätä itseäsi. Nuo johtimet ovat paljon kalliimpia, mutta niiden johtavuus (eli metallin resistanssi) on täsmälleen sama kuin tavallisissa (halvoissa) kuparilangoissa eivätkä ne ole missään mielessä parempia minkäänlaiseen kotikäyttöön, mukaan lukien radioamatööriantennit. Happivapaata kuparia tarvitaan vain tietyissä erikoistilanteissa, kuten tyhjiössä, ja hapen puute on ainoa syy käyttää sitä. Ei sen "laatu" tai "johtavuus"! Joten miksi maksaa isompaa hintaa jostain, mistä ei saa mitään lisähyötyä.

Huomaa myös, että kuparilangan pituus vaihtelee lämpötilan mukaan. Pituus on lyhin alhaisissa lämpötiloissa ja pisin korkeimmissa lämpötiloissa. Kuparilanka "venyy" 1.0000165-kertaisesti pituutensa jokaisella 1°C lämpötilan nousulla ja "kutistuu" 1.0000165-kertaisesti pituutensa jokaisella 1°C lämpötilan laskulla. Tämä tarkoittaa sitä, että antennin resonanssitaajuus laskee tai nousee lämpötilan vaihdellessa. Esimerkiksi 50°C lämpötilan muutoksella antennin resonanssitaajuus siirtyy 0.0825 %, joten:

- 160 m dipolin resonanssitaajuus siirtyy $\pm 66\text{kHz}$
- 40 m dipolin resonanssitaajuus siirtyy $\pm 16.5\text{kHz}$
- 10 m dipolin resonanssitaajuus siirtyy $\pm 4.125\text{kHz}$
- Johdon venymisellä tai kutistumisella ei kuitenkaan ole käytännön merkitystä antennin toiminnalle HF-alueilla, koska radioamatööribandit ovat taajuuteen nähden suhteellisen leveitä ja HF-antennit on yleensä viritetty suunnilleen alueen keskitaajuudelle.

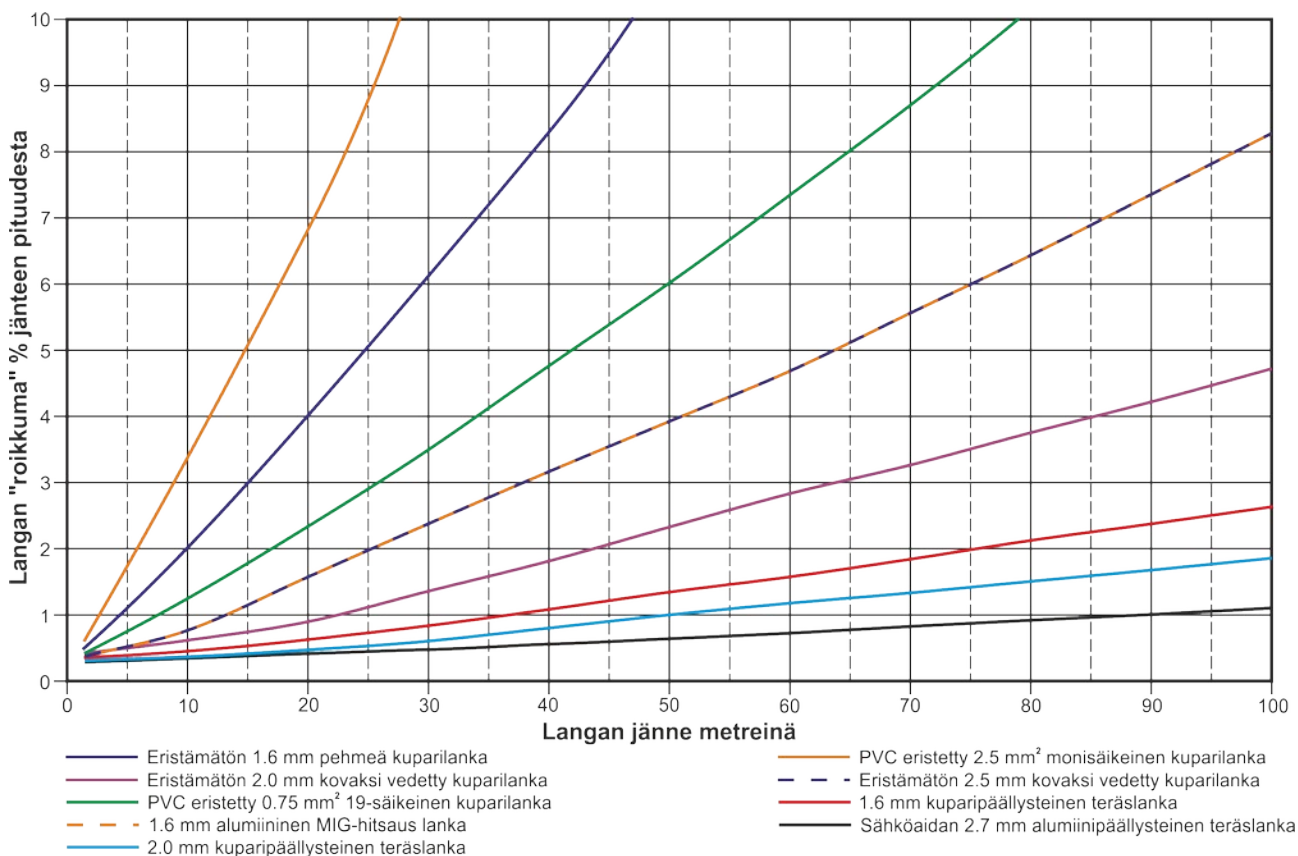
Alumiinilanka olisi myös sähköisesti erittäin hyvää (ja kevyempää) antenneihin, mutta sillä on erittäin vakavia haittapuolia:

- Sitä on mahdoton juottaa normaalein radioamatöörin työkaluin.
- Se hapettuu erittäin nopeasti (sekunnissa tai nopeammin ilmassa), joten kaikkien puristusliitäntöjen (kuten ruuvit, klemmarit jne.) kontaktit katkeavat itsestään hyvin nopeasti.
- Se ei ole yhtä kestävää mekaaniselle kuormitukselle, koska se on jäykempää.
- Se ei saa olla kosketuksissa mihinkään muuhun metalliin, sillä alumiini muodostaa sen kanssa kemiallisen sähköparin (jännite jopa 0.7 V, riippuen toisesta metallista), varsinkin märkänä ja kontakti syöpyy nopeasti. Toinen metalli "siirtyy" alumiinin pinnalle.

Antennilangan paksuudella ei ole sähköistä merkitystä HF-alueilla, koska se on aina erittäin pieni osa aallonpituudesta. Ainoa vaatimus on, että lanka kestää siihen kohdistuvat mekaaniset rasitukset (jännitys, tuulikuorma jne.) ja että se kestää lähetystehon lämpenemättä. Paksumpi lanka on tietysti vahvempaa, mutta se on myös painavampaa, mikä on otettava huomioon varsinkin pitkissä antenneissa alimmille bandeille (160 m, 80 m). Kokemuksesta voin sanoa, että Ø 1.6 mm eristetty, yksisäikeinen sähköasennuslanka kestää vuosikymmeniä kaikenlaisissa HF lanka-antenneissa ja kaikenlaisissa sääolosuhteissa, kuten myrskyjen aikana ja vähintään -30° C ... +40° C (-22°F ... 104°F) lämpötiloissa. Se kestää myös helposti vähintään 1500 W HF-lähetystehoa. Yleensä lanka-antennit kestävätkä katkeamatta paljon voimakampia tuulia, kuin esim. alumiini-putkista rakennetut antennit.

Antennilankoja ei saa kuitenkaan vetää liian tiukalle, muuten ne alkavat kovassa tuulessa värähtelemään kuin kitaran kieli ja sitten ne katkeavat metallin väsymisen takia. Antennilankojen tulee aina roikkua hieman löysällä ja ne tulee kiinnittää tukipisteisiin ultraviolettisäteilyn kestävällä muovinarulla joustavuuden vuoksi. Alla olevat käyrät antavat jonkinlaisen käsityksen tarvittavasta löysyydestä. Ne laskettiin VK2OMD:n (Owen Duffy) "Antenna wire catenary calculator"-sovelluksella osoitteessa: <https://owenduffy.net/calc/awcc/awcc.htm>.

VK2OMD:n sivustollakin (<https://owenduffy.net/rigging/sag.htm>) on käyriä langan löysyydelle, **mutta ne ovat 60 m/s (= 216 km/h = 12 Beaufort) tuulelle**, mikä on järjestetyn kova näihin tarkoituksiin. On erittäin todennäköistä, että mikään radioamatöörin antennisysteemi, mukaan lukien masto(t), itse antenni jne., ei kestä tuollaista myrskyä!



Ylläolevat käyrät ovat:

- 28 m/s (= 100.8 km/h = 10 Beaufort) tuulen maksimivoimakkuudelle.
- Australiaa varten, joten ne ovat suhteellisen korkeille lämpötiloille (yli +15 °C). Ne eivät sovellu alhaisille lämpötiloille (esim. -30 tai -40 °C).
- **Vapaasti riippuville** antennilangan jännteille.
- Turvakertoimelle 3.5.
- Käyrissä ei ole otettu huomioon antennilankaan kerääntyvää lunta tai jäätä.
- Käyrissä ei ole otettu huomioon esim. antennin syöttöpisteeseen kytketyn koaksiaalikaapelin aiheuttamaa lisäpainoa.
- **Joten, käytä yllä olevia käyriä vain jonkinlaisena "hehtaariarviona" antennilangan löysyydelle ja sovelle aina myös paikallisia olosuhteita.**

Lanka-antennin selviytymiselle vaadittava löysyys riippuu monista tekijöistä, kuten:

- Itse antennilanka (paksuus, materiaali). Paksumpi lanka on vahvempaa ja kuparipäällysteinen teräslanka on vahvempaa.
- **Suurin** paikallinen tuulen nopeus. Voimakkaammat tuulet vaativat enemmän löysyyttä.
- **Alin** paikallinen lämpötila. Kaikki metallit kutistuvat lämpötilan laskiessa ja jonkinlainen löysyys on säilytetävä myös matalissa lämpötiloissa (esim. -30 ... -35 °C Pohjoismaissa). Myös lumi ja jää antennilangassa voivat lisätä sen painoa huomattavasti.

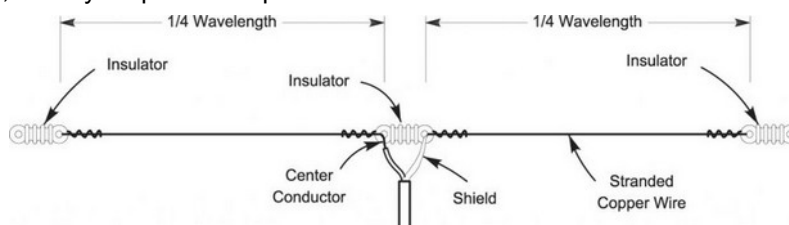
- Antennin tukirakenteiden "jäykkyys". Puut heiluvat paljon kovassa tuulessa. Mastot eivät juurikaan liiku tuulessa, riippuen kuitenkin niiden harustuksesta. Jotkut ehdottavat rissan ja painolla varustetun köyden käyttämistä antennin pitämiseksi jännittyneenä, mutta kokemus on osoittanut, että köysi ei jatkuvan liikkeen vuoksi kestä pitkäänkään, varsinkaan puuasennuksissa. Köysi katkeaa ja antenni putoaa alas.
- On syytä ottaa huomioon, että kaikki erilaiset lanka-antennin selviytymiseen vaikuttavat tekijät voivat ilmaantua yhtä aikaa (kuten kova myrsky -30°C pakkasessa).

Kaikki lanka-antennin liitokset **on juotettava**. Kaikenlaiset puristusliitokset (ruuvit, klemmarit jne.) ruostuvat tai hapettuvat ajan myötä ja kontakti lopulta katkeaa. Kannattaisi myös suojata kaikki juotosliitokset lämpökustiteletkulla, itsemuovautuvalla kumiteipillä tai silikonilla.

Epämääräisen mittainen lanka-antenni voi toimia miltei yhtä hyvin kuin resonanssidipoli, mutta dipolista poiketen sitä on mahdollista käyttää useilla (tai kaikilla) HF-alueilla.

Lanka-antenneja on monenlaisia:

- a. **Keskeltä syötetty resonanssidipoli**. Tämä on yksinkertaisin yhden HF-alueen lanka-antenni, mutta sitä voi mahdollisesti käyttää myös resonanssitaajuuden parittomilla kerrannaisilla, kuten 40 metrin dipolia 15 metrillä ($3 \times 7 \text{ MHz} = 21 \text{ MHz}$) tai 80 metrin dipolia 30 metrillä ($3 \times 3.5 \text{ MHz} = 10.5 \text{ MHz}$). Se ei toimi parillisilla kerrannaisilla, sillä syöttöpisteen impedanssi on erittäin korkea.



- "1/4 Wavelength" = 1/4 (sähköinen) aallonpituus
- "Insulator" = Eristin
- "Center Conductor" = (Koaksiaalikaapelin) keskijohdin
- "Shield" = (Koaksiaalikaapelin) vaippa
- "Stranded Copper Wire" = Monisäikeinen kuparilanka

Resonanssidipolin teoreettinen syöttöpisteen impedanssi on n. 73Ω vapaassa tilassa, mutta koska HF-alueilla lanka-antennit asennetaan suhteellisen lähelle maanpintaa (usein alle 1/4 aallon korkeudelle), syöttöpisteen todellinen impedanssi on lähempänä 50Ω :ia.

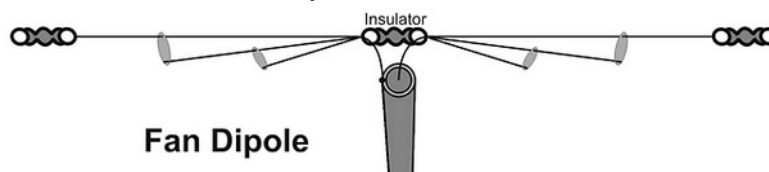
Usein dipoli asennetaan suoraan, jolloin sen suuntakuviossa on syvät, kapeat nollat antennilangan päiden suuntaan. Vaakasuuntainen säteilykuvio muistuttaa leveää "8"-numeroa, joka on kohtisuorassa antennilankaan nähden. Rajallisessa tilassa ja/tai sopivien tukipisteiden puutteessa dipoli voidaan asentaa myös kulmaan syöttöpisteestä, joko alaspäin (jota kutsutaan "Inverted V:ksi"), vinoon tai vaakasuoraan. Noissa tapauksissa syvät nollat antennilankojen päiden suuntaan pienenevät ja säteilykuvio muuttuu pyöreämmäksi. **Älä kuitenkaan tee lankojen välistä kulmaa pienemmäksi kuin noin 120° , tai syöttöpisteen impedanssi laskee liian alas!** Älä asenna inverted V:n päitä niin lähelle maata, että ihmiset voivat koskea lankoihin. Lähetyksen aikana suurtaajuusjännite on lankojen päissä erittäin korkea, lähetystehosta riippuen mahdollisesti useita kilovoltteja!

"Vakiokaava" dipoliantennin kokonaispituuden laskemiseksi on: **$L = 143 / \text{MHz}$** vähintään kolmen (3) desimaalin tarkkuudella. Kaavassa:

- L = Antennin kokonaispituus metreinä. Jaa lukema 2:lla saadaksesi langan pituuden dipolin molemmille puoliskoille.
- **Huom! Useimmiten yllä olevasta kaavasta saatua antennin kokonaispituutta on muutettava**, eli antennia on pidennettävä tai lyhennettävä, sillä mm. antennin korkeus maanpinnasta vaikuttaa sen pituuteen. Tee siis ensin antennilangoista hieman (esim. 0.5 tai 1 %) pidempiä, nosta antenni ylös ja tarkista SWR. Sitten lyhennä antennin molempia päitä yhtä paljon pienin askelin, kunnes SWR on noin 1.0:1.

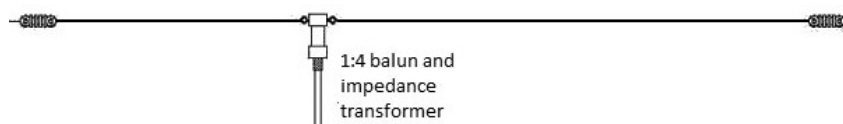
Yleensä ei ole tarpeen käyttää minkäänlaista balunia resonanssidipolin syöttöpisteessä. Se vain lisää antennijärjestelmän häviöitä. Koaksiaalikaapelin tulee kuitenkin kulkea vähintään $1/4$ aallonpituuden verran syöttöpisteestä suorassa kulmassa (90°) antennilankaan nähden, joko alaspäin, vaakasuoraan tai viistosti alaspäin. Jos syöttöjohtoa ei voi viedä syöttöpisteestä suorassa kulmassa, tulee käyttää 1:1 **virtabalunia** (= yhteismuodon kuristin) syöttöpisteessä, jotta suurtaajuus ei pala kaapelin vaipan ulkopintaa myöten asematilaan. Balunilla on oltava riittävän korkea yhteismuotoimpedanssi (vähintään $5000\ \Omega$) toimintataajuudella.

- b. On myös mahdollista kytkeä eri alueiden dipoleita rinnan samaan syöttöpisteeseen. Näitä antennia kutsutaan **viuhkadipoleiksi** (Fan dipole) tai **rinnakkaisdipoleiksi**. Koska eri alueiden dipolit kuormittavat ja epävirittävät toisiaan, ei dipolien vakiokaavaa voi suoraan käyttää. Yleensä tarvitaan paljon trimmausta, viritystä ja säätöä, jotta antenni toimisi mahdollisimman hyvin. Ja tietysti säädöt on tehtävä antennin lopullisessa asennuskorkeudessa, joten antennin nostoja ja laskuja on paljon. Lähellä oleva maa epävirittää jokaisen antennin. Kaiken tämän ponnistelun jälkeenkin tarvitaan usein antenniviritin lopullista sovitusta varten. Antennin alustavaan simulointiin voisi käyttää esimerkiksi MMANA-GAL:ia.



- "Insulator" = Eristin
- "Fan dipole" = Viuhkadipoli

- c. **Epäsymmetriset (OCF = Off Center Fed) antennit**. Nämä ovat monialueantenneja. Antennin syöttöpiste voi olla melkein missä hyvänsä langan matkalla, mutta ei liian lähellä kumpaakaan päätä. Ainoa vaatimus on, että antennin kokonaispituuden tulee olla noin $1/2$ sähköistä aallonpituutta alimmalla käytettävällä taajuudella. Syöttöpisteen impedanssi vaihtelee riippuen sen sijainnista langassa ja kulloinkin käytettävästä taajuudesta. Antenniin on kuitenkin mahdollista laskea yksi tai useampia syöttöpisteitä, joissa on lähes sama impedanssi, esimerkiksi 200 tai $300\ \Omega$ (**ei $50\ \Omega$!**), kaikilla antennin käyttöbandeilla. Silloin tarvitaan vain baluni (esim. $1:4$, $1:6$, $1:9$ tms.) sen sovittamiseksi $50\ \Omega$:iin. Antenniviritin saattaa kuitenkin olla tarpeen antennin lopulliseksi sovittamiseksi lähettimen $50\ \Omega$ lähtöön kaikilla bandeilla. Internetissä on ilmaisia laskentaohjelmia tähän tarkoitukseen. Olen käyttänyt menestyksellä DLØHST:n "Stromsummen-Antennen-Berechnung"- ("Antennien Virtasummalaskenta")- ohjelmaa, joka on saatavissa osoitteesta: <https://www.dl0hst.de/stromsummenantennenberechnung.htm>. Ohjelma on saksankielinen, mutta ei vaikea ymmärtää.



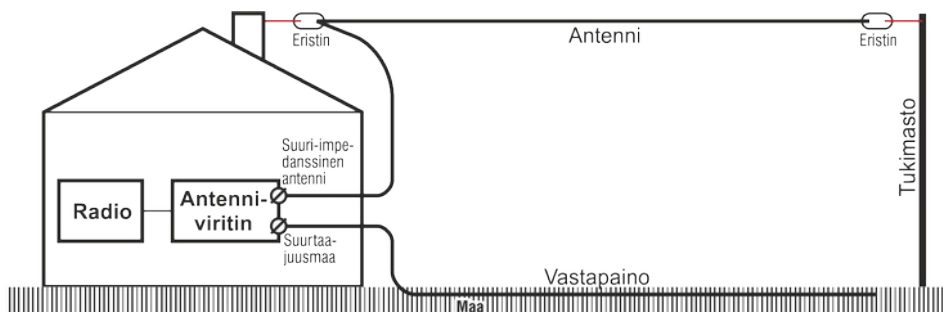
- "1:4 balun and impedance transformer" = 1:4 baluni ja impedanssimuuntaja

Tällä hetkellä minulla on $29 + 16 = 45$ m pitkä OCF-dubletti QTH:ssäni kaikille HF-bandeille ($160\text{ m} - 10\text{ m}$). Koska sen kokonaispituus on liian lyhyt 160 metrille, on antennin lyhyemmässä haarassa kuormitus-kela ja sen ohituskondensaattori (tämä ei ole trappi). Syötän sitä katolla olevan $4:1$ hybridibalunin kautta ja käytän antenniviritintä lopulliseen sovitukseen.

Minulla oli myös rinnakkainen (4-lankainen) OCF-dubletti usean vuoden ajan Suomessa. Se oli mitoitettu siten, että se oli resonanssissa kaikilla HF-alueilla ($160\text{ m} - 10\text{ m}$) ja syötin sitä $1:4$ koaksiaalibalunin läpi $600\ \Omega$ avolinjalla. 160 m varten antennissa oli lineaarinen kuormitus, joten antennin kokonaispituus oli sama kuin 80 metrin dipolilla. Lopullista sovitusta varten tarvittiin antenniviritin. Antenni oli melko painava ja tarvitsi kolme (3) tukipistettä, yhden molempiin päihin ja kolmannen syöttöpisteeseen.

- d. **Päästä syötetyt langat** ovat monialueantenneja. Langan kokonaispituuden tulee olla noin $1/2$ sähköistä aallonpituutta alimmalla käyttötaajuudella. Yleisin päästä syötetyn langan muoto on ylösalainen L. Antennin muodolla ei ole juurikaan väliä. Se voi jopa mutkitella tarpeen mukaan käytettävissä olevassa tilassa. Antennin syöttöpiste on langan päässä (usein suoraan antenniviritimen liittimessä) ja toinen pää on auki.

Päästä syötetty lanka-antenni vaatii aina vastapainon, ts. jonkinlaisen langan tai muun metallin maan pinnalla tai alla, enemmän tai vähemmän antennin alapuolella. Vastapaino alentaa päästä syötetyn langan impedanssin sellaiseksi, että antenniviritin pystyy sen käsittelemään. Muutoin syöttöpisteen impedanssi olisi erittäin korkea, mahdollisesti useita k Ω :ja taajuudesta riippuen. Antennivirittimen antennilähdön maa on kytketty tähän vastapainoon ja suurtaajuussignaali antennilankaan.



- e. **Quadit** ovat erittäin hyviä lankarakenteisia suunta-antenneja HF-alueille, mutta ne ovat 3-ulotteisia ja usein melko kookkaita. Tämä tekee mastoasennuksesta hankalampaa, koska puolet antennista on antenninkääntäjän asennuspisteen alapuolella ja saattaa törmätä haruksiin. Quadit voivat olla joko neliön tai "ruutuässä" (eli 45° kierrettyjä) muotoisia, mikä ei vaikuta mitenkään antennin toimintaan. Neliönmuotoinen quadi syötetään normaalisti alemman vaakalangan keskeltä. "Ruutu"-quadi syötetään yleensä "ässä" alakulmasta. Kokonsa vuoksi quadeja tehdään yleensä vain 20 m bandista ylöspäin. Pienimmissä HF-quadeissa on vain kaksi lankaelementtiä (säteilijä ja heijastin). Säteilijän kehä on suunnilleen yksi täysi sähköinen aallonpituus. Heijastin on hieman isompi ja mahdolliset suuntaajat hieman pienempiä. Esimerkiksi 2-elementtisen quadin vahvistus on reilusti parempi (noin 3 dB) kuin 2 elementtisen jagin. Tämä johtuu siitä, että quadissa on kaksinkertainen määrä 1/2 aallon "dipoleja" verrattuna jagiin, mutta syötettynä saman pisteen kautta. Lankaelementtien kannattimien tulee olla eristävää materiaalia. Perinteisesti niihin on HF-quadeissa käytetty bambua, mutta nykyään lasikuitu-putki on parempi ratkaisu.



Yksi- tai monialueisten HF-quadien rakentaminen on mahdollista jopa 4 tai 5 elementtisinä kullekin bandille, mikä antaa reilusti vahvistusta (suunnilleen 10 - 12 dBd = dipoliin verrattuna). VHF- ja UHF-alueilla käytetään suurempiakin quadeja (jopa 15 - 30 elementtiä tai enemmänkin), mutta koon vuoksi niitä on mekaanisesti mahdoton rakentaa HF:lle. Oikein mitoitettuna kunkin bandin syöttöpisteimpedanssi on lähellä 50 Ω :ia, mutta: **eri bandien säteilijöitä ei aina voi kytkeä rinnan!** Monialueinen quadi saattaa tarvita kauko-ohjattavan kytkentäsystemin (releillä) itse antenniin. Se kytkee vain tarvittavan alueen säteilijän 50 Ω syöttöjohtoon. Kaikki muut säteilijät ovat irrotettuna ja epävirittettyinä oikosuljettujen koaksiaalipätkien avulla.

- f. HF lankabeamin elementtien ei tarvitse olla neliöitä. Elementtejä on tehty esimerkiksi kolmion muotoisina ("delta loop" = kreikkalainen kirjain Δ = "delta" ylösalaisin). "Delta"-beamissä on hieman vähemmän vahvistusta kuin samaelementtisessä quadissa, mutta mekaaninen rakenne voi olla yksinkertaisempi. Kolmion kaksi pystyviistoa sivua voivat olla jopa metalli-putkea (alumiini jne.). Apuelementit voivat olla sähköisesti kytkettynä puumiin. Riippuen säteilijän sovitustavasta (esim. gamma-sovitus), sekin voi olla kytkettynä puumiin. Viistoputket kannattelevat ylempää vaakalankaa. Koko antenni on kääntäjän asennuspisteen yläpuolella, joten harukset eivät estä antennin kääntymistä. Toisaalta pyöreäelementtisiä quadeja käytetään paljon esimerkiksi 23 cm alueella.

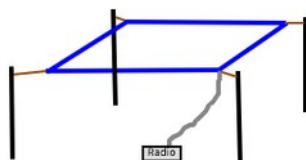


- g. **Hexbeam**-antennit ovat 2 elementtisiä jageja, mutta lankarakenteisina. Säteilijän + heijastimen yhdistetty muoto on kuusikulmio (hexagon), josta tulee antennin nimi. Antennin vahvistus on hieman pienempi kuin täysikokoisella 2-elementtisellä jagilla, mutta sen kääntösäde on paljon pienempi ja se on paljon kevyempi. Siinä on kuusi käyriksi jännitettyä lasikuitukannatinta. Säteilijä- + heijastinelementit muodostavat täyden "ympyrän". Säteilijän ja heijastimen päät on erotettu toisistaan lyhyellä muovinarulla. Säteilijän toiset päät on kytketty 50 Ω syöttölinjaan, joka on usein tehty alumiiniputkista.

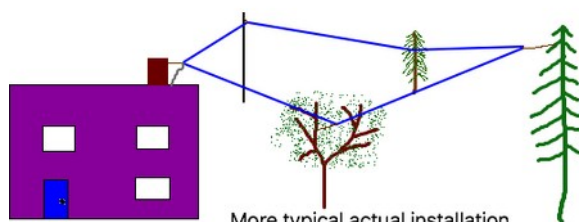


Näitä antennejä valmistetaan kaupallisesti, yleensä useille HF-amatöörialueille, mutta niitä voi myös melko helposti rakentaa kotona. Tällä hetkellä minulla on katolla 6:n alueen (20 m - 6 m) Hexbeam ja se toimii oikein hyvin. Hexbeam on suunta-antenni, joten se vaatii aina antenninkääntäjän.

- h. **Vaakasilmukka-antennit** (horizontal loop) ovat myös monialueantenneja. Ne ovat oikein hyviä sekä lähetyksessä että vastaanottoa ajatellen. Silmukan ympäröimä tulee olla 1 täysi sähköinen aallonpituus alimalla bandilla, jolle antenni on tarkoitettu, joten noin 160 metriä lankaa tarvitaan 160 metrin silmukkaan ja n. 80 metriä 80 metrin silmukkaan. Tällainen antenni tarvitsee vähintään neljä (4) tukipistettä (yhden jokaiseen kulmaan). Silmukan muoto voi olla melkein mikä tahansa täysneliöstä suorakaiteen muotoiseen ja pyöreään, mutta sen pituus/leveyssuhde ei saisi olla pienempi kuin 2:1. Syöttöpiste voi olla missä tahansa sopivassa paikassa, esimerkiksi yhdessä tukipisteistä. Vaakasilmukka tarvitsee aina balunin syöttöpisteeseen ja antennivirittimen lopullista sovitusta varten. Balunin impedanssimuuntosuhde riippuu paljon siitä, miten korkealle silmukka on asennettu, maan aiheuttaman kuormituksen vuoksi. Ylempänä olevat silmukat tarvitsevat suuremman impedanssisuhteen baluneja (kuten 9:1 tai jopa 12:1), kun taas alempi silmukka voi pärjätä vain 4:1 tai 6:1 balunilla.



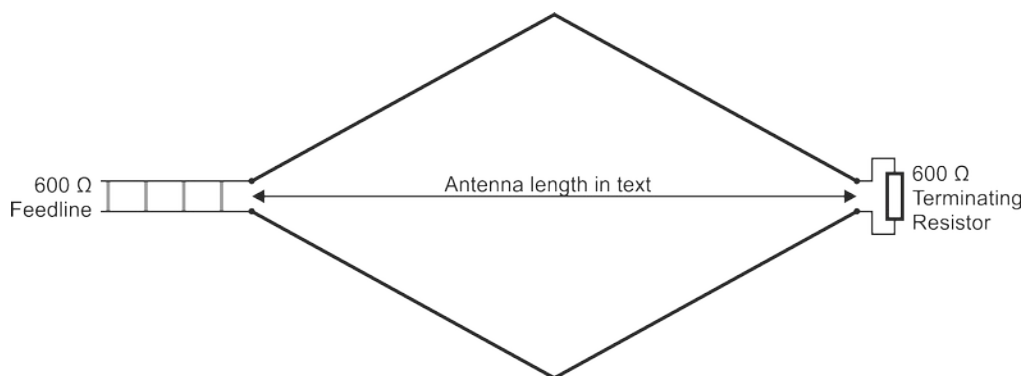
Typical drawing of a horizontal loop.



More typical actual installation

- "Typical drawing of a horizontal loop" = Tyypillinen piirros vaakasilbukasta
- "More typical actual installation" = Tyypillisempi todellinen asennustilanne

- i. **Rombi (Rhombic) antennit** ovat suuren vahvistuksen omaavia monen bandin suunta-antenneja. Ne ovat erittäin kookkaita, joten niitä ei voi kääntää, eivätkä ne ole kovin käytännöllisiä hamssikäyttöön. Rombin pituuden on oltava vähintään 5 aallonpituutta, jotta siinä olisi jonkin verran vahvistusta, mutta yleensä ne ovat 10 - 20 aallonpituuden mittaisia. Joten 20 metrin (ja ylempien) bandien rombi olisi noin 200 - 400 metriä pitkä! Huomaa, että tuo pituus on antennin syöttöpisteestä sen toiseen päähän, jossa on päätevastus ja antennilla on myös reilusti leveyttä. Se ei ole rombin silmukan langan pituus, joka olisi noin 3 kertaa pidempi kuin antennin pituus.



- "600 Ω Feedline" = 600 Ω syöttöjohto
- "Antenna length in text" = Antennin pituus tekstissä
- "600 Ω Terminating Resistor" = 600 Ω päätevastus

Rakensin vuosia sitten käännettävän rombiantennin 2 m:lle, mutta se oli melkoisen hankala ja aivan liian iso saatavaan vahvistukseen nähden. 12-elementtinen jagi oli paljon parempi.

Ensimmäisen kerran näin rombi-antenneja 1970-luvulla "Helsinki Radio"-meriradioasemalla lähellä Helsinkiä. Se oli heidän lähetysasemansa. Vastaanottoasema sijaitsi noin 50 km:n päässä häiriöiden välttämiseksi. Heillä oli useita rombeja eri suuntiin ja ne kattoivat noin 1 neliökilometrin (100 hehtaaria) alueen.

- j. **Lankavertikaalit** ovat yhden bandin 1/4 aallon antenneja, joiden maataso on vähintään 4 kpl 1/4 aallon radiaalia. Pysyvää asennusta varten vertikaalit tehdään tavallisesti metalli- (alumiini-) putkista, mutta siirrettävään käyttöön lankaversiot ovat käytännöllisempiä. Langan pää voidaan vetää esim. puun oksalle. Toinen mahdollisuus on hankkia riittävän pitkä lasikuituinen onkivapa ja kiinnittää lanka sen sisään vain ohueen yläpäähän. Silloin antenni voidaan nopeasti koota ja purkaa tarpeen mukaan ja sitä on helppo kuljettaa.
- k. HF-alueille tehdään myös monia muita lanka-antenneja, kuten sloper, inverted-V, häkkidipoli, Beverage, T-antenni, Spider- ja Moxon-beami, vaiheohjattava dipoliryhmä, kulkuaaltoantenni jne. Edellä olen kuvaillut vain joitakin yleisimmistä antenneista.

C.2 "Jäykät" antennit

"Jäykällä" antennilla tarkoitan sellaisia, jotka on tehty putkista, tangoista tai muista jäykistä materiaaleista lankojen sijaan. Itse antennin yleisin materiaali on alumiiniputki, sillä:

- Se on paljon kevyempää kuin muut metallit.
- Se on erinomainen sähkönjohdin, miltei yhtä hyvä kuin kupari.
- Saatavilla on erityisiä alumiiniseoksia putkina, tankoina jne., jotka ovat paljon jäykempiä kuin puhdas (pehmeä) alumiini ja kestävät erittäin hyvin tuulikuormia.
- UHF-, SHF- ja korkeammilla taajuuksilla alumiini on vastaanotossa erittäin hiljainen, koska sen ominainen lämpökohina on paljon alhaisempi kuin muilla metalleilla (kuten kupari). HF- ja VHF-alueilla "hiljaisuudella" ei ole merkitystä, koska ilmakehän häiriöt ja muu taustakohina on paljon voimakkaampaa kuin antennin oma kohina.
- Alumiini hapettuu erittäin nopeasti, mutta alumiinioksidi on vain erittäin ohut kerros metallin pinnassa, erinomainen eriste ja melko kovaa, mikä suojaa sisällä olevaa metallia todella hyvin.

Alumiiniputkilla on myös joitakin haittapuolia:

- Alumiinia on mahdotonta juottaa normaaleilla radioamatöörin työkaluilla.
- Alumiini hapettuu erittäin nopeasti. Joten myös kahden alumiinikappaleen liitos on varmistettava ruuveilla, pulteilla, klemmareilla jne., jotta kontakti pysyy kunnossa tulevina vuosina. Jos kahden liitetyn alumiinikappaleen muoto ja lujuustarpeet sen sallivat, käytän joskus alumiinisia "Pop"-niittejä pitämään kappaleet yhdessä.
- Alumiini ei saa olla kosketuksissa mihinkään muuhun metalliin, koska alumiini muodostaa sen kanssa sähköparin ja toinen metalli (yleensä teräs) ruostuu nopeasti, varsinkin märkänä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kaikki kahden metallin liitokset (pultit, ruuvit, klemmarit jne.) on suojattava tavalla tai toisella. Olen käyt-

tänyt onnistuneesti ruosteenestomaalia tai silikonaa kaikkien 2-metalliliitosten ympärillä. Todennäköisesti on muitakin tapoja saavuttaa sama tulos.

- Puomiin keskeltä kiinnitetyllä jagin putkielementillä voi jäykkyden vuoksi olla mekaaninen resonanssi, jolloin se alkaa värähtelemään jossain tuulen nopeudessa. Tuulen ei tarvitse olla kovinkaan voimakas. Näin tuollaista tapahtuvan vuosia sitten 4-elementtisessä 20 m jagissa (silloisen OH2ID:n - Kalevi Koski, asemalla). Heijastimen päät "vispasivat" yli 50 cm amplitudilla ja lopulta noin 1 metri katkesi elementin molemmista päistä. Antenni korjattiin ja jotta sama ei toistuisi uudelleen, kaikkien elementtiputkien läpi asennettiin paksumuoviköysi. Köysi vaimentaa värähtelyä, mutta ei juurikaan lisää antennin painoa.

Jäykkiä antennia käytetään kaikilla radioamatöörialueilla aina mikroaaltoihin asti. Matalilla taajuuksilla vertikaalit ovat yleisiä, mutta 20 metristä ylöspäin jagit ovat suosittu valinta. VHF:llä, UHF:llä ja ylemmillä taajuuksilla käytetään myös usein jageja, mutta monielementtisiä quadeja ja erilaisia hybridiantenneja voidaan lisäksi rakentaa alumiini- tai kupariputkesta jne. erinomaisin tuloksin. Kuitenkin: Suomalaiset radioamatöörit rakensivat täysikokoisen 3-elementtisen jagin 160 m:lle (!) 100 m korkeaan pyörivään mastoon kilpailuasemalleen OH8X ("Radio Arcala")! Katso esimerkiksi <http://www.radioarcala.com/> ja G7VJR:n blogi osoitteessa <https://g7vjr.org/2013/02/radio-arcala-visit-oh8x-finland/>. Eli kaikki on mahdollista riittävällä rahalla ja työvoimalla.

Koeta ymmärtää, että jokaisen monielementtisen antennin kaikki elementit ovat edelleen 1/2 sähköisen aallonpituuden dipoleja, mutta apuelementit (heijastin, suuntaajat) on kytketty syöttölinjaan säteilijäelementin luoman suurtaajuuskentän kautta! Ei ole väliä minkä muotoisia ne ovat tai miten ne on asennettu. Joissakin antenneissa (kuten quadi, quagi, delta loop jne.) joidenkin tai kaikkien elementtien pituudet voivat olla sähköisen 1/2 aallonpituuden kerrannaisia, mikä käytännössä tarkoittaa, että sarjassa on kaksi tai useampia 1/2 aallon dipoleita. Monielementtisissä antenneissa vahvistus saadaan aikaan kunkin elementin suurtaajuussignaalin sopivalla vaiheituksella, ts. tekemällä heijastimesta hieman pidempi ja suuntaajat hieman lyhyemmiksi kuin säteilijä, sekä säätämällä elementtien välistä etäisyyttä.

Antennielementin paksuudella alkaa olla hieman merkitystä jo 20 metrillä, koska käytettyjen putkien on oltava melko paksuja kestääkseen niihin kohdistuvat mekaaniset rasitukset. Niinpä paksuus on jonkin verran merkittävä osa aallonpituudesta. HF-taajuuksilla elementit usein myös ohenevat päitä kohti painon ja alaspäin roikkumisen vähentämiseksi (eli paksuin putki keskellä ja sitten tarpeen mukaan ohenevia kokoja kohti elementin päitä). Elementin paksuuden merkitys kasvaa mitä korkeammille taajuuksille mennään. Muiden tekijöiden lisäksi elementin pituuteen vaikuttaa myös sen paksuus suhteessa aallonpituuteen. Joka tapauksessa jäykkien antennien kaikkien putkien ja liitosten on kestettävä kaikki niihin kohdistuvat voimat (mukaan lukien tuulikuorma).

Jäykät antennit tehdään yleensä jollekin tietylle radioamatöörialueelle. Ne eivät ole "kaikkien bandien" antennia. Jäykkä antenni voidaan kuitenkin saada toimimaan useammalla bandilla käyttämällä esim. trappeja, erillisiä elementtejä eri alueille tai käyttämällä säädettäviä elementtejä.

Jäykkiä antennia on monenlaisia:

a. Vertikaalit

HF-alueilla vertikaaliantennit asennetaan yleensä maahan, mutta joskus myös kohotetaan mastoputkella jollekin korkeudelle. VHF-, UHF- ja korkeammilla taajuuksilla vertikaalit asennetaan lähes aina reilusti maan yläpuolelle.

Vertikaaliantennien etuna on, että ne ovat ympärisäteileviä, joten ne eivät tarvitse antenninkääntäjää ja yleensä niiden asennukseen vaadittava tila on pienempi kuin muuntotyypisillä antenneilla. Niiden huono puoli on, ettei niistä saa paljoakaan vahvistusta, etenkin HF-alueilla.

VHF:llä ja UHF:llä vertikaaliantennin vahvistusta voidaan nostaa kytkemällä kaksi tai useampia 1/2 aallon mittaisia osia sarjaan ja kääntämällä signaalin vaihe vastakkaiseksi jokaisessa osien liitoksessa (= **kollineaarinen antenni**, Collinear antenna). Yksi helppo tapa tehdä kollineaariantenni on kytkeä sarjaan esim. 5 - 10 kpl sähköisen 1/2 aallonpituuden mittaisia pätkää 50 Ω koaksiaalikaapelia. Keskijohdin ja vaippa kytketään ristiin kussakin pätkien liitoksessa. Sitten koko homma ripustetaan ylhäältä ja syötetään alapäässä olevan impedanssin sovitusosan läpi. On useita muitakin tapoja saavuttaa sama tulos. Katso tarkempia ohjeita antennikirjoista tai internetistä.

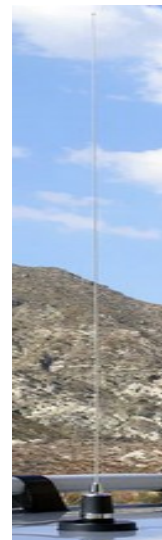
Yleisessä käytössä on monenlaisia vertikaaliantenneja:



1. **1/4 aallon vertikaalit** ovat yhden bandin antenneja, joiden maatasona on vähintään 4 kpl 1/4 aallon radiaalia.
 - HF-alueilla pystyosa on yleensä tehty alumiiniputkesta (mahdollisesti ohentuen päätä kohti). Maataso tehdään usein kupari- (tai muu metalli) langoista maassa (tai pinnan alla) tai mahdollisesti nostettuna maanpinnan yläpuolelle antennin syöttöpisteeseen.
 - VHF- ja korkeammilla taajuuksilla pystyosa voi olla alumiiniputki tai -tanko. Maataso on usein tehty jäykistä alumiinitangoista tai -putkista, jotka sojottavat ulospäin antennin alapäästä.
 - VHF- ja UHF-mobiilikäyttöön pystyosa on usein tehty joustavasta ruostumattomasta teräslangasta tai lasikuitututikusta, jonka sisällä on kuparilanka ja maataso on itse asiassa ajoneuvon metallikatto.

2. **5/8 aallon vertikaalit** ovat myös yhden bandin antenneja, joiden maatasona on 4 kpl tai useampia 1/4 aallon radiaalia.

- 5/8 aallon vertikaaleja käytetään enimmäkseen VHF- ja UHF-taajuuksilla, mutta niitä voi tehdä myös ylemmille HF-alueille. Niissä on jonkin verran vahvistusta (noin 1.5 - 2 dB) suhteessa 1/4 aallon vertikaaliin, mutta ne ovat myös paljon (2.5 kertaa) pidempiä. Tämäntyyppinen antenni tarvitsee alapäähän sovituskelan, jossa on väliotto pystyosan ja maatason välissä. 50 Ω kaapeli kytketään kelan väliottoon ja maatasoon.
- HF-alueilla pystyosa on yleensä valmistettu alumiiniputkesta (mahdollisesti ohentuen päätä kohti). Maataso tehdään usein kupari- (tai muu metalli) langoista maassa (tai pinnan alla) tai mahdollisesti nostettuna maanpinnan yläpuolelle antennin syöttöpisteeseen.
- VHF- ja korkeammilla taajuuksilla pystyosa voi olla alumiiniputki tai -tanko. Maataso on usein tehty jäykistä alumiinitangoista tai -putkista, jotka sojottavat ulospäin antennin alapäästä.
- VHF- ja UHF-mobiilikäyttöön pystyosa on yleensä tehty joustavasta ruostumattomasta teräslangasta tai lasikuitututikusta, jonka sisällä on kuparilanka ja maataso on itse asiassa ajoneuvon metallikatto. Mobiiliantenneissa sovituskela on usein ajon aikana taipuva teräsjousi ja koaksiaali on kytketty siihen pienellä klemmarilla.



3. **Monen alueen vertikaalit.** Periaatteessa yhden bandin HF-vertikaalia voitaisiin käyttää useilla amatööribandeilla, aivan kuten päästä syötettyä lanka-antennia. Pystyosan korkeuden tulee kuitenkin olla noin sähköinen 1/4 aallonpituus alimmalla käytettävällä taajuudella. Radiaalien tulee myös olla noin sähköisen 1/4 aallon pituisia alimmalla taajuudella, jolla antennia käytetään. Tällaiset vertikaalit vaativat aina antennivirittimen sovittamaan impedanssi 50 Ω :iin. Antennin tarkasta korkeudesta riippuen sitä ei ehkä ole mahdollista sovittaa yhdellä tai useammalla alueella erittäin korkean SWR:n vuoksi.

HF-vertikaaleja tehdään myös useille hamssibandeille käyttämällä trappeja tai erillisiä lineaarisia sovitusosia. Yleensä tällaiset antennit voidaan syöttää suoraan 50 Ω koaksiaalikaapelilla.



4. **J-pole** ("J-paalu") vertikaaleja käytetään nykyään enimmäkseen VHF- ja UHF-alueilla, mutta niitä on rakennettu myös ylemmille HF-bandeille. Antenni on periaatteessa päästä syötetty sähköisen $1/2$ aallon pituinen dipoli, jonka kanssa on sarjassa sähköisen $1/4$ aallon mittainen oikosuljettu "avolinjastubi" jolla antenni sovitetaan 50Ω :iin. Koko antenni on tehty samasta putkesta taivuttamalla se "J"-muotoon. Sovitus tapahtuu siirtämällä syöttöpistettä "avolinjassa". Antennin vahvistus on sama kuin dipolilla (eli 0 dBd tai +2.14 dBi), mikä on 1 - 1.5 dB enemmän kuin $1/4$ aallon vertikaalissa. Tämä antenni kehitettiin vuonna 1909 ja sitä käytettiin alunperin saksalaisen Zeppelin-ilmalaihan perässä roikkuvana lanka-antennina.

5. **HF-mobiilivertikaalit**: HF-alueen mobiilikäyttöön on rakennettu monia vertikaaliantenneja 80 m bandista ylöspäin. Ne ovat aina yhden alueen antenneja. Niiden suurin ongelma on erittäin rajoitettu korkeus, jotta ne eivät osuisi mihinkään ajon aikana (kuten matalalla olevat puunoksat, sillat jne.). Lyhyiden (aallonpituuksissa) vuoksi nämä antennit eivät ole parhaita lähetyksessä tai vastaanotossa, mutta ovat OK tarkoitettuun käyttöön. Kuitenkin, myös näiden antennien on oltava sähköisen $1/4$ aallonpituuden mittaisia, joten sähköistä pituutta on jatkettava kuormituskelalla, joko antennin alapäässä tai jossain sen keskellä. Ongelmana on myös se, että ajoneuvon metalliosia on käytettävä maatasona ja se on lähes aina liian pieni tähän tarkoitukseen. Ajoneuvon kapasitanssi todelliseen maahan auttaa jonkin verran maataso-ongelmaa, mutta riippuu paljon maan johtavuudesta (kuten kuiva tai märkä asfaltti, hiekka, multa jne.).

Käytännössä kaikista tuosta seuraa varsin pieni resistanssi ($R \Omega$) ja suuri kapasitiivinen reaktanssi ($-j \Omega$) antennin syöttöpisteeseen, joten antennin alapäähän on sijoitettava jonkinlainen säädettävä L/C-sovituspiiri. Alhainen syöttöpisteimpedanssi tarkoittaa myös sitä, että suurtaajuusvirta antennin syöttöpisteessä on erittäin suuri ja varsinkin maadoitusliitäntä ajoneuvon runkoon on kytkettävä erittäin luotettavasti mahdollisimman lyhyellä **paksulla** kaapelilla. Tähän tarkoitukseen käytetään usein jonkinlaista koaksiaalikaapelin vaippaa muistuttavaa levyä kuparipunosta.

HF-mobiiliantennit (mukaan lukien niiden sovituspiirit) ovat aina erittäin kapeakaistaisia ja katavat vain pienen osan radiobandista, jolle antenni on suunniteltu.



7. **Vertikaaliset suunta-antennit** ovat yhden HF-alueen antenniryhmiä. Näistä voi saada kohtuullisen vahvistuksen, mutta ne vievät paljon tilaa. Periaatteessa 3 tai 4 kpl sähköisen $1/4$ aallon vertikaalia asennetaan esimerkiksi $1/4$ aallonpituuden päähän toisistaan kolmioon tai neliöön. Säteilyn suuntaa muutetaan portaittain releohjatuilla koaksiaalisilla vaiheistuslinjoilla kullekin antennille.

b. Suunta-antennit

Englanninkielinen ilmaisu "beam antenna" tulee todennäköisesti ajatuksesta, että toisin kuin vertikaali- tai dipoliantenni, jotka säteilevät kaikkiin suuntiin kuten tavallinen lamppu tekee valolle, suunta-antenni säteilee "yhteen" suuntaan kuin taskulamppu tai auton ajovalot.

"Jäykkiä" beameja tehdään yleensä vain 20 m alueesta ylöspäin aina VHF- ja UHF-taajuuksille saakka. Jotkut käyttävät jopa 40 m beameja, mutta ne ovat erittäin kookkaita ja mekaaninen rakenne vaatii erikoisratkaisuja.

Suunta-antennien etuna on, että niillä on tehovahvistusta suhteessa dipoleihin tai vertikaaleihin. HF-alueilla jäykät beamit ovat yleensä vaaka**polarisoituja**, mutta VHF:llä ja UHF:llä niillä voi olla kumpi hyvänsä polarisaatio (vaaka tai pysty) tai jopa kiertopolarisaatio. HF-alueilla antennin polarisaatiolla ei ole käytännön merkitystä, koska polarisaatio voi kiertyä millä tavoin hyvänsä, kun signaali heijastuu ionosfääristä. Vastaanotettujen signaalien "häipymisilmiö" (QSB) johtuu ionosfääriin jatkuvasti muuttuvien heijastusominaisuuksien lisäksi

polarisaation kiertymisestä. VHF:llä ja korkeammilla taajuuksilla antennin polarisaatio on tärkeä, koska edes DX yhteyksissä signaalin polarisaatio ei kierry paljoakaan. VHF- ja UHF-signaalien heijastukset johtuvat eri ilmiöistä, kuten troposfäärin sironta, kanavoituminen tai heijastuminen, satunnainen E-kerros, heijastus reontulista tai meteorivanoista jne. Väärällä polarisaatiolla vastaanotetun signaalin vaimennus on vähintään -20 dB luokkaa.

Kiinteillä VHF- ja UHF-aseilla vaakapolarisaatio on paljon parempi, koska antennit asennetaan yleensä melko korkealle (aallonpituuksissa) ja maaheijastuksella on hyvin vähäinen vaikutus, joten säteily on aina lähes horisonttiin.

Pystypolarisaatiota käytetään paljon VHF- ja UHF-mobiiliyhteyksissä (mukaan lukien toistinasemat), koska vertikaaliantenneja on helpompi asentaa ajoneuvoihin.

Erilaisten "piiska-antennien" lisäksi olen myös rakentanut monia vaakapolarisoituja, ympärisäteileviä 2 m mobiiliantenneja, kuten halo, "Big Wheel" (apilanlehti, Clover Leaf - kts. kuva), ristidipoli ja rakoantenni ("Abe Lincoln", "roskakori"). Big Wheel oli erinomainen jopa DX-yhteyksiin kiinteiden asemien kanssa. Yleensä 200 - 300 km päähän, mutta toisinaan reilusti yli 1000 km etäisyydelle **ajon aikana**. Se on kuitenkin mekaanisesti suurikokoinen ja sitä oli vaikea pitää auton katolla moottoritiellä 120 km/t vauhdissa.



1. Antennin sovitus. Antennin syöttötavasta riippuen voidaan tarvita baluni, tai sitten ei:

- **Yksinkertainen (keskeltä katkaistu) dipoli** jaoin säteilijänä: Katkaistuja dipoleja käytetään harvoin jäykissä HF-alueiden antenneissa elementin keskustan mekaanisten ongelmien takia. 1:1-baluni voi olla hyödyllinen HF-antennin syöttöpisteessä, mutta usein se ei ole tarpeen, jos syöttöpisteen impedanssi on 50 Ω . Katkaistua dipolia voitaisiin käyttää VHF- ja UHF-jageissa, mutta balunia ei niissä tule käyttää häviöiden takia.
- **Gamma-sovitus** (kreikan "Γ"-kirjaimesta = iso "gamma"): Näitä käytetään kaikilla radioamatöörialueilla HF:stä VHF:ään ja UHF:ään. Gamma-sovitin on kondensaattori (kaksi erikokoista putkea, yksi toisen sisällä ja eristettynä toisistaan) sekä kela (= kondensaattoriputket + oikosulkupala sisemmästä putkesta säteilijään) sarjassa. Gamma-sovitin epäsymmetrisyyden vuoksi koaksiaalikaapeli on kytkettävä suoraan siihen ilman minkäänlaista balunia. Gamma-sovitus säädetään (sekä kondensaattori että kela) siten, että saadaan 50 Ω impedanssi koaksiaalikaapelia varten.



- **T-sovitus** ("T"-kirjaimesta): Tätä sovitusmenetelmää käytetään kaikilla radioamatöörialueilla HF:stä VHF:ään ja UHF:ään. T-sovitus säädetään 50 Ω impedanssiksi koaksiaalikaapelille siirtämällä oikosulkupaloja T-osan ja säteilijän välissä. 1:1 baluni voi olla hyödyllinen antennin syöttöpisteessä, mutta usein se ei ole tarpeen. VHF- ja UHF-jageissa ei pidä käyttää balunia sen häviöiden takia. *Huom! Kuvan T-sovitus on aivan liian leveä ja toimii kuin taittodipoli (kts. alempana).*



- **Delta-sovitus** (kreikan "Δ"-kirjaimesta = iso "delta"): Näitä sovitusyhteistyöjä käytetään pääasiassa VHF- ja UHF-antenneissa. Ne olisivat mekaanisesti liian suuria HF-alueille. Delta-sovitus muuntaa säteilijän impedanssin 50 Ω :ksi tai 200 Ω :ksi ja se säädetään muuttamalla deltan sovitusjohtojen paikkaa säteilijässä. Jos sovitettu antenni-impedanssi on 50 Ω , balunia ei tule käyttää VHF- ja UHF-alueilla sen häviöiden vuoksi. Jos sovitettu antenni-impedanssi on 200 Ω , pienihäviöistä 1:4 koaksiaalibalunia (sähköisen 1/2 aallonpituuden lenkki 50 Ω kaapelia) voidaan käyttää impedanssin sovittamiseksi 50 Ω :iin.



- **Taittodipoli** korottaa antennin syöttöpisteen impedanssia ja sitä käytetään pääosin VHF- ja UHF-jagien säteilijänä. Impedanssin muuntosuhde riippuu elementin syötetyn osan ja taitetun osan **materiaalien paksuussuhteesta**. Katso laskin osoitteessa <https://owenduffy.net/calc/fdsurc.htm>.



Useimmiten materiaalin paksuus on sama molemmissa osissa, jolloin impedanssin muuntosuhde on 1:4. Koko elementti siis tehdään taivuttamalla yhtenäisestä putkesta tai tangosta. Tätä voidaan hyödyntää kahdella tavalla:

- Korottaa syöttöpisteen impedanssi 50 Ω :iin antennissa, jonka impedanssi muutoin (tavallista dipolielementtiä käyttäen) olisi 12.5 Ω .
- Korottaa antennin syöttöpisteen impedanssi esimerkiksi 50 Ω :sta 200 Ω :iin, jotta antennin syöttämiseen voidaan käyttää parikaapelia. Tästä voisi olla hyötyä myös 4:n antennin ryhmässä, kun antennit kytetään rinnan saman mittaisilla 200 Ω parikaapeleilla, jolloin kokonaisimpedanssiksi saadaan 50 Ω .

Vaikka taittodipoli onkin symmetrinen säteilijä, VHF- ja UHF-jageissa ei pidä käyttää balunia sen häviöiden takia. Jos antennin impedanssi on 200 Ω , voidaan käyttää pienihäviöistä 1:4 koaksiaalibalunia (sähköisen 1/2 aallonpituuden lenkki 50 Ω kaapelia) impedanssin sovittamiseksi 50 Ω :iin.

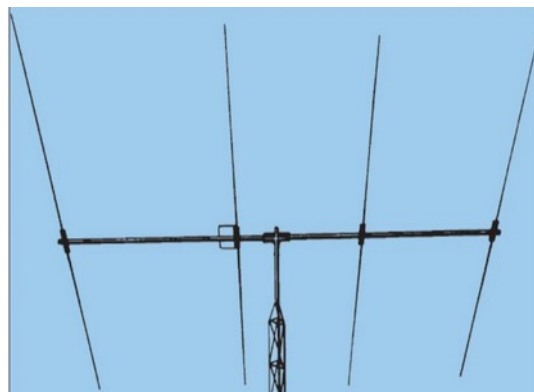
Yleisessä käytössä on monenlaisia jäykkiä antenneja:

2. **Kääntävä dipoli**. En näe juurikaan järkeä näissä HF-antenneissa, koska dipolin säteilykuvio on lähes ympyrä, jossa on syvät, terävät nollat elementin päiden suuntaan. Näistä voi olla hyötyä vain, jos jostain tietyistä lähteistä peräisin olevia häiriöitä on vaimennettava kääntämällä antennin toinen pää sitä kohti. Näitä varten tarvitaan antenninkääntäjä, mutta jos sellainen jo on, miksei asennettaisi siihen suunta-antennia.



3. **Yhden alueen jagi** on luultavasti eniten käytetty suunta-antenni. Niitä tehdään yleisesti HF:lle 20 metristä ylöspäin sekä VHF:lle, UHF:lle ja korkeammille taajuuksille. Suuntaavuuden vuoksi nämä antennit vaativat aina antenninkääntäjän. Niitä on suhteellisen helppo suunnitella 50 Ω syöttöimpedanssille, joten impedanssin sovituspirejä ei tarvita.

Mitä enemmän elementtejä (suuntaajia) yhden alueen jagissa on, sitä enemmän sillä on tehovahvistusta. HF-taajuuksilla elementtien maksimimäärä rajoittuu yleensä 4:ään tai 5:een, koska suurempien antennien rakentamisessa tulee mekaanisia ongelmia. HF-alueilla antennit on myös usein tehtävä hieman lyhyemmiksi (eli puomi on ly-



hyempi), kuin mitä vaadittaisiin elementtien lukumäärään perustuvan maksimivahvistuksen saavuttamiseksi. Lyhyempi puomi vähentää hieman antennin tehovahvistusta. VHF-, UHF- ja korkeammilla bandeilla ei yleensä ole tällaisia rajoituksia antennin pituudelle, joten vahvistuksen lisäämiseksi on mahdollista käyttää esim. 15, 20, 30 tai jopa useampia elementtejä. Vahvistus kasvaa noin +3 dB **joka kerran kun antennin elementtimäärä kaksinkertaistetaan**, joten jossakin vaiheessa saavutetaan piste, jossa lisätyistä elementeistä saatava hyöty jää mitättömäksi.

Usein parempi tapa lisätä antennin vahvistusta on kerrosta kaks tai useampia samanlaisia antennia pysty- tai/ ja vaakatasossa. Vahvistus kasvaa jälleen noin +3 dB **joka kerran kun antennien määrä kaksinkertaistetaan**. Myös kerrostusetaisyydet vaikuttavat vahvistuksen kasvuun. Moonbounce (EME, maakuu-maa, kuuta käytetään signaalin heijastamiseen) workkimista varten on VHF:lle rakennettu esimerkiksi kahdeksan 15 elementtisen jagin ryhmiä ja UHF:lle kuudentoista 30 elementtisen jagin ryhmiä. Nuo antennit tarvitsevat myös kaksiakselisen kääntäjän - vaaka- ja pystysuuntaan. Katso lisää alta kohdasta "H. Antennien kerrostaminen".

4. **Monen alueen jagi** on luultavasti suosituin suunta-antenni käytettäväksi useilla HF-alueilla. Ne eivät ole kovin käytännöllisiä VHF- ja UHF-taajuuksille. Monen alueen HF-jagit rakennetaan yleensä kattamaan 20 metriä ja kaksi tai useampia ylempää bandia. Suuntavahvistuksen vuoksi nämä antennit vaativat aina antenninkääntäjän. Monen alueen jagit ovat melko vaikeita suunnitella, koska yhden alueen elementit kuormittavat ja epäsovittavat kaikkien muiden alueiden elementtejä. Suunnitteluvaiheessa tarvitaan paljon trimmausta, viritystä ja säätöä, jotta antenni toimisi mahdollisimman hyvin. Monen alueen jagia on myös hankala suunnitella niin, että syöttöpisteen impedanssi on 50 Ω kaikilla käytetyillä alueilla, joten usein tehdasvalmisteinen antenni sisältää tarvittavan sovituspiirin.

On kolme yleistä tapaa saada jagi toimimaan useissa alueilla:

- a. **Trappi**: Jokainen jagi-elementti on rakennettu useista osista, jotka on erotettu toisistaan taajuusloukuilla (trappi). Loukut ovat yksinkertaisia L/C-rinnakkaisresonanssiipiirejä, jotka estävät korkeammat taajuuudet, mutta päästävät läpi alemmat taajuuudet. Jokainen loukku on suunniteltu tiettyä taajuusjakoa varten. Joten esimerkiksi 20 m, 15 m ja 10 m alueille tarkoitetussa jagissa on seuraavat trappit:
- Lähimpänä puomia on jokaisen elementin molemmilla puolilla 10 m / 15 m erotustrappit, joten elementit ovat sähköisesti oikean pituisia 10 metrin toiminnalle.
 - Seuraavaksi (puomista lukien) on jokaisen elementin molemmilla puolilla 15 m / 20 m erotustrappit, joten 15 metrin toiminnalle elementit ovat sähköisesti oikean pituisia (= 10 m elementtiosa + 10 m / 15 m trappi + 15 m elementtiosa).
 - Jäljellä olevia sähköisesti oikean mittaisia elementin osia käytetään 20 m:n toiminnalle (= 10 m elementtiosa + 10 m / 15 m trappi + 15 m elementtiosa + 15 m / 20 m trappi + elementin loppupituus).



Trappijagit ovat yleensä hieman pienempiä ja kevyempiä kuin jotkin muut monen alueen jagit. Elementtien pituudet ovat mekaanisesti lyhyempiä, koska trappien kelat saavat jokaisen elementin näyttämään sähköisesti pitemmältä kuin ne todellisuudessa ovat. Trappijagit voidaan yleensä syöttää 50 Ω koaksiaalikaapelilla. Niillä on kuitenkin myös eräitä haittapuolia:

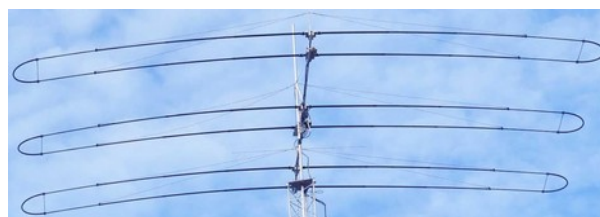
- Antenni on aina kompromissi, koska samoja elementtien asennuskohtia puomissa käytetään kaikilla bandeilla. Useimmilla alueilla tämä asennuskohta ei tuota parasta mahdollista vahvistusta. Käytännössä se tarkoittaa, että jotkin antennin parametrit, kuten vahvistus, SWR, etu/taka-suhde jne. on täytynyt tasapainottaa eri alueiden välillä, jotta antenni toimisi. Tämän seurauksena trappijagilla ei yleensä ole yhtä hyvää vahvistusta kaikilla bandeilla kuin yhden alueen jagilla, jossa on sama määrä elementtejä.
- Trappien kondensaattorien ja kelojen on kestävä suuret jännitteet, koska dipolin kärjessä (joka tässä tapauksessa on ylemmän taajuuden trappi) on todella korkea suurtaajuusjännite. Lähetystehosta riippuen se voi olla useita kilovoltteja.

- Mekaanisia ongelmia on runsaasti, koska trapit on kiinnitettävä tavalla tai toisella vain elementteihin (yleensä alumiiniputki) ja eri elementtiosat on eristettävä sähköisesti toisistaan trapin koteloinnilla. On erittäin vaikeaa rakentaa trappi, joka kestää mekaanisesti useita vuosia siihen kohdistuvia luonnonvoimia, kuten aurinkoa, tuulta, sadetta, lunta, jäätä jne. Nämä ongelmat ovat tärkein syy, miksi trappijagi on jossain vaiheessa otettava alas ja korjattava.
- Trapit aiheuttavat häviöitä, pääasiassa siksi, että suurtaajuuden on "kuljettava" trapin kelan läpi päästäkseen elementin alemman taajuuden puolelle.

b. Erilliset elementit eri bandeille: Tämän tyyppiset jagi-antennit ovat melko yleisiä HF-alueilla (useimmiten ne kattavat 20 m ...10 m bandit). 2:n bandin jageja on myös rakennettu kattamaan 2 m ja 70 cm alueet samalla puomilla, mutta syötettynä erillisillä kaapeleilla. HF-jagissa on yksi tai useampia säteilijöitä (mahdollisesti trapeilla), jotka on kytketty samaan 50 Ω syöttölinjaan ja erilliset apuelementit (heijastimet ja suuntaajat) eri bandeille. Eri alueille saadaan näin suurin puomille mahtuvia määriä elementtejä (suuntaajia) optimaalisin välein. Antenni on pohjimmiltaan suunniteltu erillisinä yhden alueen jageina asennettuna samalle puomille. Tällä tavoin jokaiselle bandille saadaan oikeat elementtipituudet ja -välit parhaan vahvistuksen saavuttamiseksi. Kuitenkin, johtuen kaikkien muiden alueiden käyttämättömien elementtien aiheuttamasta kuormituksesta ja epävirityksestä yhden bandin elementteille, antenni on silti jonkin verran kompromissi eri alueiden välillä. Antennia suunniteltaessa on otettava huomioon elementtien väliset kuormitus- ja epäviritysvaikutukset.

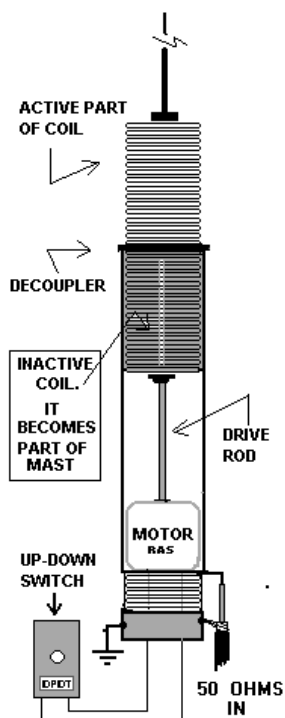


c. Muuttuvan pituiset elementit: Tämän tyyppisiä HF-jageja valmistetaan kaupallisesti ja tietääkseni enintään 3 elementtisinä. (heijastin, säteilijä ja yksi suuntaaja). Elementtien etäisyydet ovat kiinteät, mutta elementtien pituuksia voidaan säätää portaattomasti parhaan vahvistuksen ja 1.0:1 SWR:n saavuttamiseksi millä hyvänsä antennille tarkoitetulla taajuudella.



Perusideana on, että elementtimateriaali on pituussuunnassa jäykkää, mutta muuten joustavaa metallia (kuin metallinen mittanauha). Elementit asennetaan eristeputkien sisään, usein taivutettuna takaisin antennin leveyden vähentämiseksi. Muutoin muoviputket eivät kestäisi kovaa tuulta. Ulkoa katsottuna elementit näyttävät taittodipoleilta, mutta niitä ne eivät ole. Elementtien puolikkaat kelataan antennin keskelle (puomi) ja niitä ohjataan moottoreilla vaihteiston läpi. Vaihteistoilla on eri välityssuhteet eri elementeille, joten samaa ohjausta voidaan käyttää niille kaikille. Näin elementtejä voidaan lyhentää ja pidentää jatkuvasti tarpeen mukaan jokaiselle taajuudelle alimman bandin alapäästä (usein 20 metriä) ylöspäin.

HF:lle, VHF:lle ja mahdollisesti UHF:lle on myös rakennettu "ruuvimeisseli" antennieja ("screw driver antenna", useimmiten vertikaaleja), joissa elementin pituutta säädetään 2-suuntaisella kauko-ohjauksella ("YLÖS" - seis - "ALAS") tasavirtamoottorille, joka pyörittää pitkää ruuvia vaihdelaatikon kautta. Akku-käyttöistä ruuvimeisseliä (sisäänrakennettuine vaihteineen) käytetään usein moottorina, mistä johtuu antennin nimi.



- "ACTIVE PART OF COIL" = Kelan aktiivinen osa
- "DECOUPLER" = Mastokontakti
- "INACTIVE COIL. IT BECOMES PART OF MAST." = Kelan käyttämätön osa. Siitä tulee osa mastoa.
- "DRIVE ROD" = Ruuvitanko
- "MOTOR" = Moottori (+ vaihteisto)
- "UP-DOWN SWITCH" = Ylös/alas-kytkin
- "50 OHMS IN" = 50 Ω syöttökaapeli

Tällaisten antennien huono puoli on se, että monien mekaanisesti liikkuvien osien takia paikat kuluvat ja korjauksia tarvitaan silloin tällöin.

Yksi muistettava asia antenneissa, joissa on jagi-tyyppisiä elementtejä, erityisesti VHF- ja UHF-alueilla, on se, että **elementtien asennustapa puomiin vaikuttaa elementtien pituuteen**:

- Kun elementit on eristetty puomista, ei vaikutusta elementtien pituuksiin
- Kun elementit kiinnitetään puomiputken "kylkeen" (yleensä yläpuolelle), niiden tulee olla hieman pidempiä kuin eristetyt elementit olisivat, koska puomi osittain oikosulkee antennielementin.
- Kun elementit asennetaan puomiputken läpi ja on sähköisesti kytketty siihen, niiden tulee olla huomattavasti pidempiä kuin eristetyt elementit olisivat, koska puomi oikosulkee osan antennielementistä.
- Elementin lyhennysvaikutus riippuu puomiputken paksuudesta ja muodosta. Pyöreä puomi lyhentää elementtejä hieman vähemmän kuin neliön (tai suorakaiteen) muotoinen puomi, koska matka, joka suurtaajuuden on "kuljettava" puomin ympäri on hieman lyhyempi.
- Antennien simulaatio-ohjelmissa ei aina ole asetuksia puomin koolle, muodolle tai elementin asennustavalle, eikä ole mitään helppoa tapaa laskea eristetyn ja eristämättömän elementin pituuseroa. Monet radioamatöörit ovat kuitenkin tehneet kokeita "puomikorjauksesta" ("boom correction"). Katso esimerkiksi:
 - http://dg7ybn.de/BC_numbers/BC.htm
 - <http://www.sm5bsz.com/antennas/sa/others.htm>
 - https://www.qsl.net/yu1aw/Misc/yagi_boom_correction.pdf
 - http://www.yu7ef.com/boom_correction.htm

On olemassa monia muitakin "jäykkiä" suunta-antenneja, erityisesti VHF- ja UHF-alueille. Useimmat VHF- ja UHF-antennit syötetään 50 Ω koaksiaalikaapelilla. Antenniryhmissä käytetyillä yksittäisillä antenneilla voi olla paljon korkeampi syöttöpisteimpedanssi, jotta ne voidaan syöttää rinnakkain 50 Ω koaksiaalilla. Muutamia esimerkkejä:

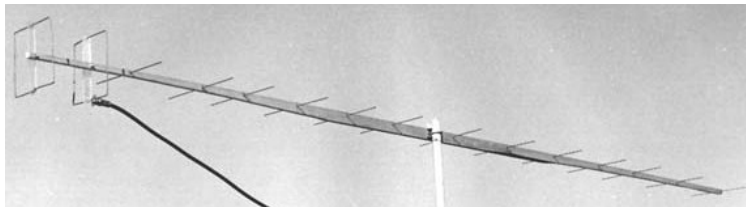
- **Quad**: VHF- ja UHF-alueille nämä antennit tehdään yleensä alumiini- (tai joskus kupari-) putkista tai suhteellisen paksuista tangoista. Quadissa on noin 3 dB enemmän vahvistusta kuin jagissa, jossa on sama määrä elementtejä.

Asuessani Lusakassa (Sambia = 9J) 1980-luvun alussa, rakensin kääntyvän 4-elementtisen bambu/lanka-quadin TV DX käyttöä varten VHF-I alueelle (analogiset TV-kanavat 2 - 4, 47 - 68 MHz). 6 m bandia ei silloin vielä ollut. Amatööriluvan saaminen ei tuolloin ollut mahdollista Sambiassa. Antennin



avulla oli aina silloin tällöin mahdollista katsella jopa Espanjan TV:tä transekvatoriaalisen etenemisen kautta, etäisyys n. 6700 km.

- **Quagi:** Nämä antennit ovat quadi- ja jagi-elementtien hybridejä. Yleensä heijastin ja säteilijä ovat quadi-muotoisia ja kaikki suuntaajat ovat jagi-elementtejä. Quagissa on noin 3 dB enemmän vahvistusta kuin jagissa, jossa on sama määrä elementtejä.



- **Dipoliryhmä:** Näissä antenneissa on useita dipoleja (esim. 4, 8, 16 jne. kpl) heijastimen edessä, joka on tehty joko jagi-tyyppisinä elementteinä tai yhdistettynä jonkinlaiseksi metalliverkoksi (esim. kana- tai katis-kaverkko). Vahvistus voi olla melko suuri ja riippuu dipolien lukumäärästä.

- **Nurkkareflektori:** Tämä antenni on periaatteessa yagi, mutta heijastin on taitetun muotoinen ja valmistettu putkista, tangoista, metalliverkosta tai -levystä. Tämäntyyppinen heijastin lisää hieman antennin vahvistusta ja parantaa merkittävästi sen etu/taka-suhdetta.



- **Hybridi kaksois-quadi:** Tässä antennissa on kaksi "ruutu"-quadia päällekkäin, taivutettuna yhdeksi kaksoissilmukaksi jota syötetään keskeltä 50 Ω kaapelilla. Heijastimena on vain kolme (3) jagi-tyyppistä putkea päällekkäin säteilijän takana. Yhdellä hybridi kaksois-quadilla on noin +8 dB vahvistus dipoliin nähden suhteellisen pienessä koossa. Minulla oli Suomessa useiden vuosien ajan neljän hybridi kaksois-quadin ryhmä (vahvistus n. +14 dBd) 2 m bandille ja minulle kerrottiin, että signaalini oli voimakas kaikkialla (mukaan lukien DX), kun ajoin siihen 50 W suurtaajuustehoa. Kuvassa on yksi hybridi kaksois-quadi neljän ryhmästäni. Tämän antennin on suunnitellut D. Roggensack (DL7KM) ja se esiteltiin ensimmäisen kerran saksalaisessa (Itä-Saksa = DDR) Funk-Technik lehdessä no. 9, toukokuu 1974.

- **Ristijagi:** Tässä antennissa on periaatteessa kaksi jagia samalla puomilla, yksi vaaka- ja yksi pystytasossa. Noilla kahdella yagilla on erilliset syöttöpisteet. Ristijagia voidaan hyödyntää kahdella tavalla:

- Antennin polarisaation vaihtaminen kiinteiden (vaakapolarisaatio) tai mobiiliasemien (pystypolarisaatio) kanssa workkimista varten.
- Vasemman- tai oikeanpuoleisen kiertopolarisaation aikaansaaminen vaiheistamalla kaksi antennia oikein lyhyillä koaksiaalikaapelin pätkillä. Usein myös kiertopolarisaation suunta voidaan vaihtaa. Kiertopolarisaatio on erityisen hyödyllinen EME (maa-kuu-maa) -operaatioissa, koska signaalin polarisaatio kiertyy matkalla ja lineaaripolarisoidut (vaaka tai pysty) antennit menettävät erittäin heikon signaalin (jossa on myös doppler-siirtymää), kun vastaanotettu polarisaatio sattuu olemaan väärä. Näin ei tapahdu kiertopolarisaation kanssa.



5. **Helix-antennit** eivät ole kovin yleisiä radioamatöörikäytössä, mutta niitä on rakennettu täyttämään tiettyjä antennitarpeita. Helix-antenneja on kahta tyyppiä: Normaali ja aksiaalihelix. Tyyppistä riippuen niitä käytetään HF, VHF-, UHF- ja korkeammilla taajuuksilla. Aksiaalihelixit olisivat aivan liian suurikokoisia millekään

HF-bandille. Helix-antenni näyttää kelalta, mutta sen toimintaperiaate ei ole sama kuin kelalla esim. resonanssiipiirissä tai L/C-suotimessa.

- a. **Normaali helix.** Nämä antennit säteilevät kohtisuoraan kierukan akseliin nähden. "Kelan" kierrosten välinen etäisyys on paljon pienempi kuin $1/4$ aallonpituus. Näitä on rakennettu esimerkiksi lyhyiksi vertikaaleiksi 160 m ja 80 m alueille. Tämän tyyppinen antenni tarvitsee aina maatasen ja L/C-sovituspierin. Niillä ei juurikaan ole vahvistusta, mutta jos korkeus on rajoitettu, ei ole paljon valinnanvaraa.

Näitä antennia käytetään paljon myös esimerkiksi 2 m alueen (145 MHz) "käsi-kapuloissa". Kumiantennin sisällä on normaali helix. Maatasona on kapulan runko sekä käsi ja keho.



- b. **Aksiaali helix.** Nämä antennit säteilevät kierukan pään suuntaan ja niillä voi olla paljon vahvistusta. Tämä antenni vaatii heijastimen (metalliverkon tai -levyn) syöttöpisteeseen. Jokainen "kelan" kierros on suunnilleen yksi täysi aallonpituus toimintataajuudella. "Kelan" kierrosten välisen etäisyyden tulee olla 0.23 aallonpituutta toimintataajuudella. Tämän tyyppinen antenni säteilee aina kiertopolarisaatiota. Polarisaation kiertosuunta määräytyy "kelan" kiertosuunnan mukaan. Aksiaalihelix voi vastaanottaa myös lineaarista polarisaatiota (pysty tai vaaka) noin -3dB vaimennuksella. Suunta-antennina se tarvitsee aina antenninkääntäjän. Käytöstä riippuen rotaattori voi joutua kääntämään antennia sekä vaakaa että pystysuuntaan.

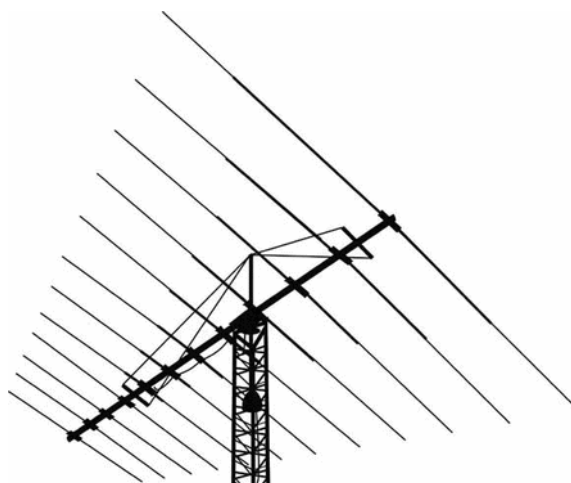


Näitä antennia on rakennettu satelliitti ja EME (maa-kuu-maa) toimintaa varten 2 m (145 MHz) ja 70 cm (435 MHz) alueille. Niitä käytetään myös paljon langattomissa dataverkoissa (Wi-Fi jne.) 2.4 GHz ja 5 GHz alueilla.

Ensimmäinen kokemukseni aksiaalihelixistä: Käytimme sellaista sääsatelliittikuvien vastaanottamiseen VHF:llä, kun työskentelin Helsingin Teknisessä Korkeakoulussa 1970-luvun alussa. Satelliitit olivat melko matalalla kiertoradalla, joten niiden seuraamiseksi antennia piti jatkuvasti kääntää katolla käsipöydällä (vaakasuunta ja korotus) ja käyttämällä sisällä laboratoriossa olevaan vastaanottoon liitettyjä kuu-lokkeita. Kuvat lähetettiin Ilmatieteen laitokselle ja jaettiin useisiin sanomalehtiin.

6. **Log-periodiset antennit** (LPDA, Log Periodic Dipole Array) ovat laajakaistaisia suunta-antenneja. Niissä on sarja eripituisia puoliaaltodipolin putkielementtejä asennettuna usein kaksoispuomiin, joka toimii myös antennin sisäisenä syöttölinjana. Se voidaan kuitenkin rakentaa myös lankaelementeistä sopivin narukannattimin, jos sitä ei tarvitse kääntää. Kaikki elementit ovat säteilijöitä, jotka on kytketty samaan syöttölinjaan (kaksoispuomi). Elementit sijoitetaan puomiin taajuuden logaritmisien funktion mukaisin välein. Peräkkäisten elementtien pituus ja niiden välinen etäisyys pienenevät vähitellen antennin päätä kohti. Log-periodisen antennin kaistaleveys voi olla melko suuri, esim. kattaen kaikki taajuudet 40 m ... 10 m bandien välillä (molemmat bandit mukaanluettuna).

Yleisesti ottaen log-periodinen antenni toimii millä hyvänsä taajuudella tavallaan kuin 3-elementtinen jagi-antenni. Toimintataajuudella lähimpänä resonanssia oleva dipolielementti toimii säteilijänä ja kummallakin puolella



olevat kaksi vierekkäistä elementtiä heijastajana ja suuntaajana vahvistuksen lisäämiseksi. Lyhyempi elementti edessä toimii suuntaajana ja pidempi elementti takana heijastajana. Järjestelmä on sähköisesti kuitenkin tuota mutkikkaampi ja kaikki elementit vaikuttavat jossain määrin, joten minkä tahansa taajuuden vahvistus on suurempi kuin 3-elementtisellä jargilla. Tyypillisesti LPDA:n vahvistus on noin +7 dBd, etu/taaka-suhde noin -22 dB ja SWR enintään 1.5:1 **antennin koko kaistanleveydellä taajuudesta riippumatta**.

Radioamatöörien LPDA-antenneja käytetään pääasiassa ylemmillä HF-taajuuksilla, esim. 20 metristä ylöspäin. Yleensä ne ovat kooltaan suhteellisen isoja, mutta toisaalta kaikille bandeille tarvitaan vain yksi suunta-antenni. Niitä voidaan rakentaa jopa 40 metristä ylöspäin, mutta matalammat taajuudet tekevät antennista paljon isomman (leveämmän ja pitemmän).

C.3 Muita antennityyppejä

Erilaisia tavanomaisesta poikkeavia antenneja on myös rakennettu. Jotkut niistä toimivat paremmin kuin toiset, varsinkin lähetyksessä, mutta koosta riippuen ne eivät välttämättä ole kovin hyviä vastaanottamiseen. Joitain esimerkkejä:

1. **Viritetty renkaat** (tuned loop): Näitä HF-antenneja kutsutaan myös "magneettisiksi renkaiksi" (magnetic loop). Suurtaajuusvirta on niissä erittäin korkea, joten joidenkin mielestä ne ovat suurtaajuudella toimivia sähkömagneetteja, vaikka ne (kuten kaikki muutkin antennit) säteilevät sekä magneettikenttää ("H") että sähkökenttää ("E"). Säteilyskuviossa on syvät minimi- ja maksimisuoraan renkaan tasoon nähden. Jotkut radioamatöörit käyttävät näitä, koska heillä ei ole tilaa täysikokoiselle antennille. Internetistä löytyy monia esimerkkejä.

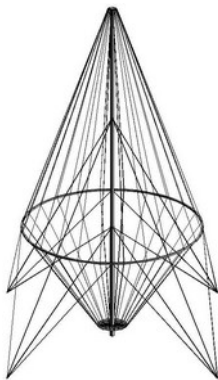


Antenni on periaatteeltaan sarjaresonanssipiiri, joka koostuu yksikierröksisestä kelasta (halkaisija esim. 50 cm ... 1.5 m, taajuudesta riippuen), joka on tehty melko paksusta kupariputkesta (esim. 20 ... 50 mm) ja yleensä säätökondensaattorista. Näillä antenneilla on erittäin korkea Q-arvo, joten ne ovat hyvin kaapekaistaisia. Lähes joka kerran kun vaihdetaan taajuutta, antenni on viritettävä uudelleen. Huomaa, että viritys voidaan helposti tehdä säätämällä vastaanotettu kohina tai suurtaajuussignaali maksimiin käyttötaajuudella. Renkaan koosta ja taajuudesta riippuen kaistanleveys voi olla vain 5 kHz (eli yksi SSB-puhekanava), eikä se todennäköisesti ole suurempi kuin 20 - 25 kHz. Käytännössä tämä tarkoittaa, että asemalla on oltava antennia varten kauko-ohjaus, joka pyörittää säätökondensaattorin moottoria. Antennille on myös mahdollista tehdä automaattinen viritysjärjestelmä.

Viritetty rengas-antenni voidaan saada toimimaan useilla HF-alueilla. Tämä riippuu pääasiassa säätökondensaattorin minimi- ja maksimikapasitanssista sekä renkaan koosta. Huomaa, että suurtaajuusjännite kondensaattorin yli on aika pieni silloin, kun antenni on viritetty toimintataajuudelle. Mutta, kun antennia ei ole viritetty toimintataajuudelle, suurtaajuusjännite kondensaattorin yli voi olla erittäin korkea, jopa useita kilovoltteja, riippuen lähetystehosta ja taajuudesta. Tällaisessa antennissa 1 mm:n ilmavälinen säätökondensaattori voi kestää maksimissaan noin 50 W tehoa, mutta suurempaa tehoa varten tarvitaan 5 ... 10 kV tyhjiösäätökondensaattori. Antenni on jokseenkin OK lähetyksessä, mutta ei paras mahdollinen vastaanottoon. Antennin säteilyskyky suhteeseen riippuu paljon toimintataajuudesta (eli bandista) ja on alhaisin matalilla taajuuksilla, mutta ei ole kovin hyvä korkeimmillaakaan taajuuksilla.

Viritetyn renkaan sovittamiseksi 50 Ω koaksiaalikaapeliin on useita menetelmiä:

- Pienehkö kytkentäsilmaukka
- L-sovitin
- Gamma-sovitin
- T-sovitin
- jne.



2. **Kartiovertikaali.** Nämä ovat laajakaistaisia vertikaaliantenneja, jotka tarvitsevat maatasen. Koosta riippuen se voi kattaa esimerkiksi 3.5 MHz ... 30 MHz HF-taajuu-
det tai esimerkiksi VHF (145 + 220 MHz) ja UHF (435 + 1260 MHz) taajuu-
det. HF:lle ne rakennetaan useista langoista ja korkeammilla taajuuksilla (VHF ja siitä ylöspäin)
voidaan käyttää metallilevyä. Näiden antennien säteilyn korotuskulma on aika matala,
lähelle horisonttia, joten ne ovat melko hyviä DX-käyttöön. Erityisesti HF:lle ne
ovat kooltaan melkoisen suuria muihin antenneihin verrattuna. Kartiovertikaaleja ei
juurikaan ole rakennettu hamssien HF-käyttöön, sillä ne ovat erittäin suuritöisiä. Niitä
on kuitenkin käytetty paljon yleisradioasemien lyhytaaltolähetyksiin.

3. **Discone-antenni.** Nämä ovat myös laajakaistaisia vertikaaliantenneja. Se
on vähän kuin kartiovertikaali (katso 2. yllä) ylösalaisin, niin että maataso on
ylhäällä. Koska maataso on antennin yläpuolella, vaakatason yläpuolelle ei
ole säteilyä. Muodosta johtuen näitä antennia on erittäin vaikea rakentaa
HF-alueille, mutta niitä käytetään VHF:llä ja sitä korkeammilla taajuuksilla.
Kaistanleveys voi olla jopa noin 10 kertaa pienin suunnittelutaajuus (eli
10:1). Nämä antennit on asennettava mastoon vähintään alimman toiminta-
taajuuden 1/4 aallon korkeudelle kaikesta sähköisesti johtavasta (mukaan
lukien maa).



4. **EH antenni.** Nämä ovat "viimeaikainen" yritys rakentaa erittäin lyhyitä vertikaaliantenneja
alemmille HF-bandeille. Nimi tulee kahdesta kentästä, joita kaikki antennit säteilevät: E-kenttä
(sähkökenttä) ja H-kenttä (magneettikenttä). Minusta nämä antennit ovat täysin hyödyttömiä,
mutta jotkut väittävät saaneensa niillä jonkinlaista menestystä. Periaatteessa antenni on hyvin
lyhyt dubletti, joka koostuu kahdesta lyhyestä ja paksusta sylinteristä päällekkäin. Koska an-
tenni on äärimmäisen lyhyt tarkoitettulle toimintataajuudelle, se on vain "iso" kondensaattori, jol-
la on erittäin korkea kapasitiivinen reaktanssi. Jotta sen saisi sovitetuksi 50 Ω kaapeliin, se on
syötettävä mutkikkaan kela- ja kondensaattoriyhteyksien läpi melko suurilla häviöillä. Antenni
aiheuttaa myös todennäköisesti korkeat suurtaajuustasot koaksiaalikaapelin vaipan kautta ase-
matilaan, jossa ne voivat aiheuttaa sähköiskuja ja mahdollisia palovammoja. Antenni saattaa
toimia suurine häviöineen jotenkuten lähetyksessä, mutta vastaanottoon se on erittäin huono
pienen koon ja häviöiden vuoksi. En koskaan suosittelisi tätä antennia kenellekään missään
olosuhteissa.

C.3 Antennien tuet

Lanka-antennit tarvitsevat vähintään kaksi tukipistettä, mutta niiden ei tarvitse olla kovin vahvoja. Usein tä-
hän tarkoitukseen käytetään puita tai putkimastoja. Mastot pitää harustaa jotta ne pysyisivät pystyssä, mutta
useimmiten muoviköysi riittää, koska ne eivät rasitu kovinkaan paljon. Maan laadusta riippuen voit joutua lait-
tamaan kiven tai pienen betonilaatan maston alle estääksesi putken painumisen maahan, varsinkin kun maa
on märkää. Esimerkiksi minun 45 metriä pitkä OCF-dublettini on tuettu molemmista päistä 5 m korkeilla alu-
miiniputkilla, harustettu 6 mm muovinarulla ja se on pysynyt ylhäällä tähän mennessä noin 10 vuotta.
Antennin syöttöpiste on kiinnitetty katollani olevaan kääntyvään alumiiniputkimastoon.

Suunta-antennit tarvitsevat jonkinlaisen maston tukemaan niitä. Yleisin tuki on putki- tai kolmiomasto, jota
pidetään pystyssä kolmella (3) haruksella. Harukset tulee kiinnittää maahan vähintään 1/3 maston korkeuden
etäisyydelle mastosta. Haruskiinnikkeiden ei tarvitse olla kovin vahvoja, koska ne eivät rasitu hirveästi. Esi-
merkiksi 15 m korkeaa alumiiniputkimastoa varten, jossa oli neljä 2 m hybridi kaksoisquadia, käytin Ø 10 mm
harjateräksen pätkiä, jotka hakkasin sopivassa kulmassa maahan. Masto harustettiin kolmella Ø 6 mm muo-
vinarulla.

Helpoin tapa pitää masto pystyssä on muovinaru tai -köysi. Tarvittaessa se voi olla melko paksuakin, esimerkiksi 10 tai 12 mm. Kaikki muoviköydet kuitenkin venyvät, joten niitä on ehkä aika ajoin kiristettävä. Saatavilla on myös erityistä sähköä johtamatonta harusvaijeria, jossa on lasikuituydin. Se ei veny, mutta on kalliimpaa. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää myös esim. Ø 6 mm teräsvaijeria. Metalliharukset voivat kuitenkin olla resonanssissa yhdellä tai useammalla toimintabandilla, joten ne on ehkä jaettava kahteen tai useampaan osaan eristimien avulla. Tämä riippuu paljon harusvaijerin todellisesta pituudesta.

Jotkut hamssit harkitsevat tai käyttävät vapaasti seisovia kolmiomastoja välttääkseen harustamistarpeen. Tämäkin voi olla mahdollista, mutta riippuu monista tekijöistä, esimerkiksi:

- Maston mekaaninen kuormitus. Antennin tuen tulee olla todella vahva, sillä suurin tuulikuorman aiheuttama rasitus (johon sisältyy sekä antenni että masto) on sen tyvessä. On siis ***laskettava alueesi pahimpien myrskyjen aiheuttama enimmäiskuormitus***. Jos tuki on liian heikko, se todennäköisesti taivuu tai murtuu tyven läheltä. Silloin koko antennijärjestelmä kaatuu alas, mikä saattaa aiheuttaa vahinkoa omalle tai naapurin talolle, autolle jne.
- Maa maston alla. Jos alla on pelkkää maata, tarvitaan iso betonimöhkäle, jotta tuki pysyy pystyssä. Maan tyypistä riippuen (kuinka pehmeää se on ja kuinka märäksi se voi tulla rankkasateessa) voidaan tarvita useiden kuutiometrien möykky betonia. Mm. Suomessa maa jäätyy talvella (jopa yli 2 metrin syvyyteen), mikä lisää ongelmia. Jos maaperä on kalliota, masto voidaan pultata suoraan siihen, mutta tämäkin riippuu kivityypistä. Graniitti on erittäin vahvaa, mutta esimerkiksi kalkkikivi ei pitele juuri mitään.

C.4 Antennin kääntäjät ja antennien suuntaus

C.4.a Tarkan pohjoisen tai etelän löytäminen

On tärkeää tietää ***maantieteelliset suunnat*** varsinkin kääntyville antenneille, muuten niitä ei ole mahdollista suunnata halutulle alueelle. Tarkan suunnan (esimerkiksi pohjoisen tai etelän) löytäminen asemasi sijaintipaikalla ei kuitenkaan ole aina kovin helppoa. Homman tekemiseen on useita tapoja:

- ***Magneettinen kompassi*** on huonoin mahdollinen tapa löytää ***maantieteelliset*** suunnat. Riippuen ympäristöstä ja QTH:n sijainnista kompassi voi osoittaa hyvinkin virheellisiä suuntia:
 - Kaikki lähellä olevat magneettiset metallit, kuten betoniin upotettu raudoitusteräs, teräsmastot jne., vaikuttavat kompassin neulaan. Virheen suuruutta ja suuntaa on mahdoton arvata.
 - Sijainnistas riippuen ***geomagneettinen*** pohjoinen ja etelä (jotka kompassi näyttää) sekä ***maantieteellinen*** pohjoinen ja etelä voivat olla täysin eri suunnissa ja ***tarvitset suunnan maantieteelliseen pohjoiseen tai etelään***. ***Geomagneettiset navat eivät sijaitse samoissa paikoissa kuin maantieteelliset navat*** ja geomagneettiset navat myös liikkuvat koko ajan. Tällä hetkellä (2024) geomagneettinen pohjoisnapa sijaitsee 80.8°N / 72.6°W (Ellesmere-saari Pohjois-Kanadassa) ja geomagneettinen etelänapa 80.8°S / 107.4°E (Etelämantereella, kohti Australiaa maantieteellisestä etelänavasta). Kreetalta (Kreikka) katsoen geomagneettisen ja maantieteellisen suunnan ero on n. 11°, Helsingistä katsoen n. 17°, Oulusta katsoen n. 20° ja Utsjoelta katsoen n. 25°.
- ***GPS***: Useimmissa GPS-vastaanottimissa (Global Positioning System) on myös kompassitoiminto, joka näyttää maantieteellisen pohjoisen (ja etelän). Varmista kuitenkin, että näytön tarkkuus on parempi kuin esim. ±2°, tai virhe havaitussa suunnassa on liian suuri antennien suuntaamista varten. Esimerkiksi 45° (= 1/8 täydestä ympyrästä) tarkkuus ei auta yhtään! Niin kauan kuin GPS-vastaanotin pystyy tahdistumaan satelliittien kanssa, ympäristö ei vaikuta siihen. Minun GPS-autonavigaattorini (Garmin) "kompassinäytön" suuntatarkkuus on vain ±22.5°, joten siitä ei ollut mitään hyötyä.
- ***Kartta***: Sijainnistas riippuen voit ehkä käyttää karttaa maantieteellisen pohjoisen määrittämiseen. YLÖS-suunta on useimmissa kartoissa pohjoinen.

Olen käyttänyt menestyksekkäästi Google Maps:ia "Satelliitti"-näytöllä (kts. <https://www.google.fi/maps/>), koska silloin näkyvissä on myös kaikki maassa oleva, kuten tiet, puut, muut rakennukset jne. Pohjoinen on Google Maps:issa aina suoraan YLÖS. Käytin hamssiantenneihini Google Maps:ia, koska niiden -3dB keilanleveydet ovat melko suuria (±20° ... ±40°) eikä suurta suuntatarkkuutta tarvita.

- ***Aurinkoaika***: Periaatteessa aurinko on keskipäivällä tarkalleen etelässä pohjoisella pallonpuoliskolla ja pohjoisessa eteläisellä pallonpuoliskolla, mutta: ***Sinun on tiedettävä, mikä paikallinen aika vastaa kello 12:00 aurinkoajassa!*** Useimmiten paikallinen aika ja aurinkoaika eivät ole täsmälleen samat. Tätä tarkoi-

tusta varten löytyy internetistä laskureita. Yksi niistä on: <https://koch-tcm.ch/en/urzeit-sonnenzeit-rechner/> ("Paikallinen aurinkoaikalaskin"). Sivun on englanninkielinen. Aurinkoajan laskemiseen tarvitset:

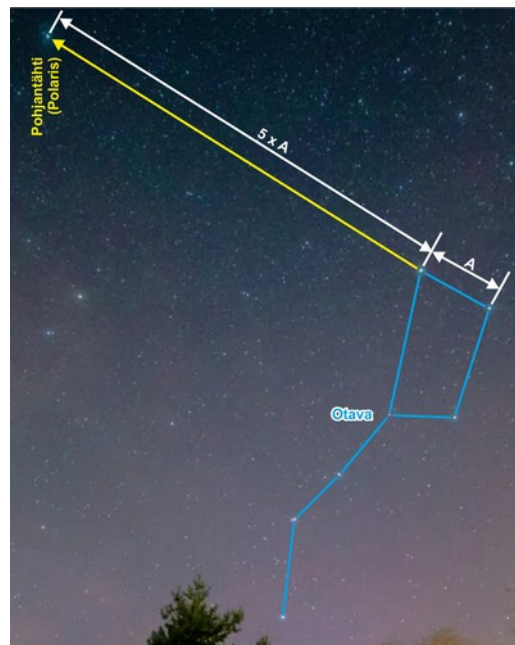
- QTH:si pituuspiiri (Longitude) asteina, mukaan lukien desimaaliosat, itään (E) tai länteen (W). Leveyspiiriä (Latitude) ei tarvita.
- Paikallinen päivämäärä (Date).
- Aikavyöhykkeesi (Time zone). Esimerkiksi Iso-Britannia = "0", Suomi = "+2", New York, USA = "-5". "+" tarkoittaa edellä UTC-aikaa, "-" jäljessä UTC-ajasta ja numero on tunteja. UTC = "Koordinoitu yleisaika", jota on aina käytettävä radioamatööriryhteyksien kirjaamiseen. Huomaa myös, että UTC on 24-tuntinen kello (**ei 12-tuntinen aamu / ilta**).
- Paikallinen aika (local time), tarkkuus parempi kuin ± 30 sekuntia.
- Onko kesäaika (Daylight Saving Time) sillä hetkellä käytössä vai ei.
- Klikkaa "Calculate result" nappia ja sen hetkinen aurinkoaika (Sun Time) lasketaan.
- Seuraavaksi muuta **paikallista aikaa** (local time), kunnes laskettu aurinkoaika (Sun Time) on tarkalleen "12:00" "Calculate result"-napin klikkaamisen jälkeen. **Nyt tiedät mikä paikallinen aika vastaa klo 12:00 aurinkoaajassa.** Kirjoita **paikallisaika** ylös.

Tarvitset jotain täsmälleen pystysuoraa, joka näyttää varjon maassa (tai katolla tms.). Sijainnistasi ja vuodenajasta riippuen, eli kuinka korkealla aurinko on puolenpäivän aikoihin, voit tarvita useamman metrin mittaisen putken, seipään tms., jotta varjo olisi riittävän pitkä. Jos olet jo asentanut antennimaston, voit käyttää sitä tähän tarkoitukseen. Seuraavaksi **odota, kunnes paikallinen aika on täsmälleen sama kuin yllä olevassa laskelmassa** (eli se **paikallinen aika**, joka vastaa kello 12:00 aurinkoaajassa) ja merkitse auringon varjon suunta maahan (tai katolle tai mihin tahansa). Esimerkiksi työnnä maahan tikku tai naula, laita katolle teipin pätke tms. Varjo osoittaa tarkasti maantieteelliseen pohjoiseen.

Huomaa, että yllä mainittu varjon suunta koskee pohjoista pallonpuoliskoa. Eteläisellä pallonpuoliskolla varjo osoittaa etelään ja pohjoinen on täsmälleen vastakkaisessa suunnassa (eli 180° varjosta).

Käytin tätä menetelmää kääntyvän, polaariakselisen $\varnothing 1.8$ m satelliitti-TV antennini suuntaamiseen, sillä se vaatii paremman kuin $\pm 1^\circ$ suuntaustarkkuuden.

- **Pohjantähti (Polaris):** Yöaikaan pohjoisella pallonpuoliskolla, kun taivas on selkeä, on pohjoinen mahdollista löytää paikantamalla taivaalta Pohjantähti (Polaris). Pohjantähti on täsmälleen maantieteellisen pohjoisnavan yläpuolella:
 - Asenna suunnilleen 1 metrin mittainen putki ($\varnothing 10 \dots 25$ mm) esim. kameran kolmiojalustaan.
 - Paikallista Pohjantähti taivaalta.
 - Katso putken läpi ja säädä kamerajalusta niin että Pohjantähti näkyy putken keskellä.
 - Lukitse kamerajalustan säädöt niin etteivät ne pääse liikumaan. Jätä kamerajalusta putkineen paikoilleen loppuyöksi.
 - Tarkista seuraavana päivänä putken vaakatasoinen suunta. Pohjoinen on täsmälleen siinä suunnassa. Suuntatarkkuus ei ehkä ole $\pm 3^\circ$ astetta parempi, mutta riittää radioamatööriantenneille.



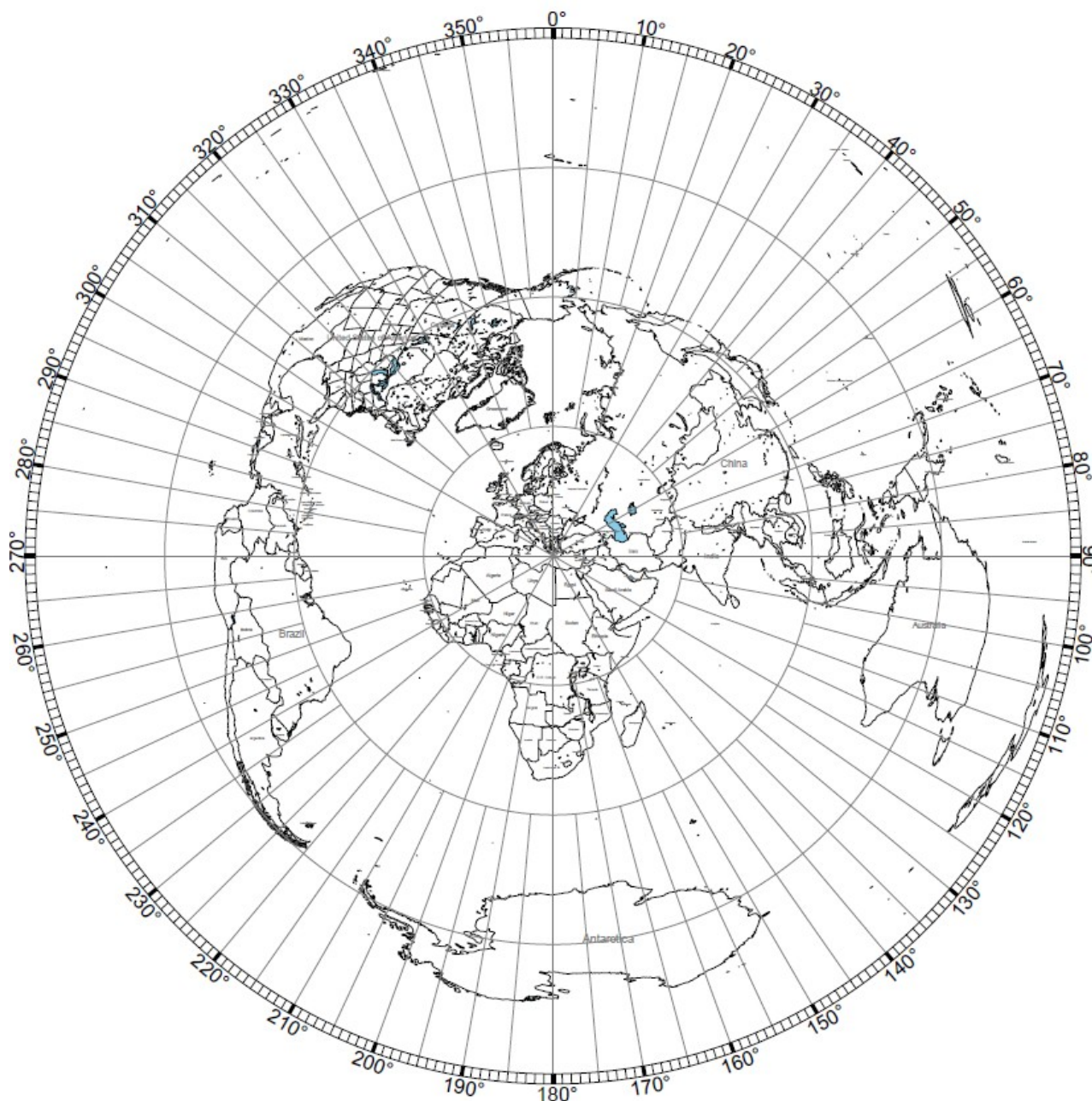
C.4.b Antennisuunnat kaikkialle maailmaan

Toinen tärkeä asia antennin oikeiden suuntien kannalta on, että sinulla on maailman suurympyräkarta (atsimuuttikarta), jonka keskipisteenä on asemasi sijaintipaikka. Koska maapallo on "pallo", ilman suurympyräkarta saatat kääntää antennisi täysin väärään suuntaan. Esimerkiksi: Kreetalla, Kreikassa, workittaessa USA on luoteeseen (ei länteen, kuten voisi olettaa) ja Japani on koilliseen (ei itään, kuten voisi olettaa). Molemmissa tapauksissa ero on noin 45° ! Suomi ja Alaska ovat suoraan pohjoiseen ja Etelä-Afrikka suoraan

etelään Kreetalta katsoen. Internetissä on ilmaisia ohjelmia, joiden avulla voit tulostaa suurympyräkartan tarpeittesi mukaan. Jotkut ohjelmat voi ladata omalle tietokoneelle ja ajaa ne siellä. Toiset ohjelmat luovat kartan internetissä, mikä voidaan sitten kopioida ja tulostaa. Suurympyräkartoja internetistä:

- NS6T, sitä voi käyttää osoitteessa <https://ns6t.net/azimuth/azimuth.html>.
- SM3GSJ:n "GcmWin", ladattavissa osoitteesta <https://www.qsl.net/sm3gsj/>.
- VE6EP:n "Azimuth3", ladattavissa osoitteesta <https://www.qsl.net/ve6yp/index.html>
- W4ENE:n "Pizza", ladattavissa osoitteesta <https://tonnesoftware.com/pizza.html>

Alla on tasaetäisyysinen suurympyräkartta, jonka keskipisteenä on minun sijaintini lähellä Haniaa Kreetalla, Kreikassa. Kartan ympyrät ovat 5000 km välein.



C.4.c Antenninkääntäjän ja antennin asennus

Useimmat antenninkääntäjät on valmistettu siten, että ohjaimen "0"-asento on pohjoiseen päin. "0"-asennolla tarkoitetaan suuntaa, jonka yli antennia ei voi kääntää. Käytännössä kääntäjän asteikko on merkitty asteina siten, että lukema kasvaa myötäpäivään:

- Pohjoinen ("N") = 0°
- Koillinen ("NE") = 45°
- Itä ("E") = 90°
- Kaakko ("SE") = 135°
- Etelä ("S") = 180°
- Lounas ("SW") = 225°
- Länsi ("W") = 270°
- Luode ("NW") = 315°
- Pohjoinen ("N") uudelleen = 360°

Antenni on siis asennettava kääntäjään siten, että se osoittaa aina oikeaan suuntaan.

Kun asennat kääntäjän ja antennin:

1. Ennen kuin asennat kääntäjän, tee väliaikainen (lyhyt) liitäntä ohjaimen ja kääntäjän välille. Sitten aja kääntäjä siten, että ohjain näyttää tarkalleen pohjoista (eli 0°). ***Katso antenninkääntäjän ohjeista, miten tämä tehdään.***
2. Poista väliaikainen kaapeli ja irrota kääntäjän ohjain sähköverkosta varmistaaksesi, ettei ohjainta ajeta vahingossa johonkin muuhun asentoon. Itse antenninkääntäjä saa virtansa ohjaimesta. Useimmat antenninkääntäjät toimivat siten, että itse kääntömoottori menee aina ohjaimesta asetettuun asentoon, myös kaapelin uudelleen kytkemisen jälkeen. ***Tarkista kuitenkin toiminta kääntäjän ohjeista!***
3. Asenna kääntömoottori mastoon. Liitä kääntäjän ohjauskaapeli moottoriin.
4. Asenna antenni(t) kääntömoottoriin siten, että ne osoittavat pohjoista kohti, kuten edellä kohdassa C.4.a on määritetty.
5. Kytke antenni(e)n koaksiaalikaapeli(t) antenneihin. ***Kierrä koaksiaalit vähintään 2 tai 3 kertaa ERIT-TÄIN LÖYSÄSTI kääntömoottorin ja/tai antennin asennusputken ympäri varmistaaksesi, että kaapeli(t) eivät mene liian tiukalle rotaattorin kääntäessä antenneja.***
6. Kiinnitä ohjaus- ja koaksiaalikaapelit mastoon. Tähän voi käyttää nippusiteitä tai esimerkiksi jäykkää eristettyä kuparijohdinta esim. 30 cm välein. Ajatuksena on, että kaapelit eivät saa tuulessa läpsyttää mastoa vasten.
7. Kytke kääntömoottorin ohjauskaapeli ohjaimeen.
8. Kytke ohjain verkkosähköön.
9. Testaa antennin kääntösystemi pyörittämällä antenni "laitaan" saakka molempiin suuntiin ja tarkista, ettei mikään osu mihinkään tai rikkoudu antennin kääntyessä. Tämä on helpointa tehdä, jos ohjainta käyttää toinen henkilö ja katselet itse mitä antenneille tapahtuu.
10. Kytke koaksiaalikaapeli(t) radioon (-ihin).

D. Balunit ja un-un:it

Baluneja on kahta täysin eri tyyppiä: jännitebaluni ja virtabaluni. Niitä ei voi käyttää vaihtoehtoisesti niiden erilaisen toimintaperiaatteen vuoksi. Ne on tarkoitettu täysin eri käyttöön:

- **Jännitebalunia** käytetään **impedanssin muuntamiseen** ja linjan symmetrintiin.
- **Virtabaluni** ei itse asiassa ole baluni (impedanssimuuntaja), vaan yhteismuotokuristin, joka **estää** suurtaajuussignaalin pääsyn koaksiaalikaapelin vaipan **ulkopinnalle**. Muutoin suurtaajuus voisi esimerkiksi palata asematilaan. Antennin päin menevä signaali "kulkee" koaksiaalikaapelin sisällä, keskijohtimen ja kaapelin vaipan sisäpinnan välissä.
- "Bal-bal"-yksikköä (symmetrisestä symmetriseen) ei ole olemassa. Jos tarvitaan impedanssimuunnos kahden symmetrisen linjan välillä, on käytettävä oikeaa suurtaajuusmuuntajaa kahdella erillisellä käämillä.

D.1 Jännitebalunit ja -un-un:it

Kaikki jännitebalunit ja -un-un:it ovat suurtaajuus-**impedanssimuuntajia**. Ero näiden kahden välillä on, että baluni (symmetrisestä epäsymmetriseen) suorittaa myös muunnoksen symmetrisestä linjasta epäsymmetriseen, kun taas un-un:illa (epäsymmetrisestä epäsymmetriseen) on epäsymmetrinen tulo- ja lähtöliitäntä. Kaikki jännitebalunit on käämitty sydämen ympärille (joka voi joissakin tapauksissa olla pelkkää ilmaa) ns. **säästömuuntajaksi**, ts. yhdellä käämillä, jossa on yksi tai useampi väliotto. Impedanssin muuntosuhde riippuu balunin tai un-un:n rakenteesta, lähtien 1:1:stä aina 16:1:een asti tai jopa isompaan. HF-taajuuksilla nämä yksiköt käämitään yleensä rautajauhe- tai ferriittitoroidisydämelle käyttämällä yhtä käämiä yhdellä tai useammalla väliotolla, kuten säästömuuntajassa. Yleensä baluneja tai un-un:eja ei käytetä VHF- ja korkeammilla taajuuksilla, koska niiden suunnittelu on vaikeaa ja niiden häviöt ovat suhteellisen suuret. VHF- ja UHF-taajuuksilla tarvittavat impedanssimuunnokset tehdään yleensä lyhyillä kaapelin pätkillä (useimmiten koaksiaalilla), jonka häviöt ovat huomattavasti pienemmät - katso kohta E.2 alla.

Huom! Useimmiten balunia ei voi käyttää, jos tarvitaan un-un tai päinvastoin, niiden erilaisten suunnitteluperiaatteiden vuoksi!

Monenlaisia baluneja ja un-un:eja valmistetaan kaupallisesti, mutta monet radioamatöörit tekevät niitä myös itse omien tarpeidensa mukaan. Balunia tai un-un:ia ostettaessa tai tehtäessä on otettava huomioon useita tekijöitä:

- **Impedanssin muuntosuhde.** Tämä riippuu vain kulloisestakin tarpeesta, eli impedanssista, joka on muunnettava 50 Ω :iin. Kaikkien radioamatöörien käyttämien balunien ja un-un:ien referenssinä on 50 Ω koaksiaalikaapeli lähettimeen, joten yksikön toinen puoli on suunniteltava 50 Ω :ia varten. Toiselle puolelle tarvitaan enemmän tai vähemmän vaadittu impedanssi. Huomaa, että baluni- tai un-un-tyypistä riippuen impedanssimuunnos voi olla ylös tai alas. Esimerkiksi 4:1 baluni voi olla **joko** 200 Ω :sta 50 Ω :iin **TAI** 12.5 Ω :ista 50 Ω :iin, **mutta ei molemmat**. Huomaa myös, että baluneja ja un-un:eja ei voi tehdä jokaiselle mahdolliselle impedanssisuhteelle. Yleisimmät suhteet ovat 1:1, 2:1, 4:1, 6:1, 9:1 ja 12:1.
- **Suurtaajuustehon kesto.** Tämä riippuu pääasiassa sydämen koosta ja materiaalista, mutta myös langan paksumudesta. Suurempi (keskimääräinen) teho vaatii isomman sydämen ja paksumman langan. Jos spektratiheys ylitetään, sydän kyllästyy menettäen magneettiset ominaisuutensa, jolloin sydän ja/tai lanka voivat kuumentua jopa niin paljon, että sydän hajoaa kappaleiksi. Kaupalliset balunit speksataan yleensä vain **piikkiteholle** eli SSB:lle ja CW:lle. Muista, että SSB-signaalin **keskimääräinen** teho (joka aiheuttaa kuumenemista balunissa) on vain noin 15-25 % piikkitehosta, joten esimerkiksi kaupallista 1 kW:n balunia voi käyttää digitaali-modeilla (kuten RTTY) tai FM:llä vain 250 W maksimiteholla.
- **Taajuuskaista.** Tämä riippuu paljon balunin tai un-un:in suunnittelusta, mukaan lukien sydänmateriaali. Varsinkin korkeammille tehotasojille (1500 W asti) on hieman vaikea tehdä baluni tai un-un, joka kattaa esimerkiksi koko HF-spektrin 160 metristä 10 metriin ilman impedanssin muuntosuhteen tai häviöiden vaihteluita. Matalilla taajuuksilla suurin ongelma on sydänmateriaali ja sen koko. Korkeilla taajuuksilla suurin ongelma on hajakapasitanssi käämikierrosten välillä. Usein on tehtävä kompromissi ja hyväksyttävä hieman suuremmat häviöt alimmilla ja korkeimmilla taajuuksilla.

D.1.a Balunin tai un-un:in sydämen valinta

Balunin tai un-un:in sydämen koko ja materiaali riippuvat pääasiassa vaadittavasta suurtaajuustehon kestoista ja taajuusalueesta. Suurempi teho ja/tai matalammat taajuudet vaativat suuremman sydämen. Perinteisesti on käytetty "alimittaisia" rautajauhesydämiä isoille tehoille, koska ne kyllästyvät korkeammassa lämpötiloissa kuin ferriittisydämet. Tämä on joskus johtanut balunin sulaneeseen muovikoteloon, vaikka itse baluni edelleen toimi. Nykyään useimmat kotitekoiset balunit käämitään ferriittitoroideille niiden suuremman permeabiliteetin vuoksi, mikä johtaa vähempiin käämikierroksiin ja pienempään hajakapasitanssiin balunissa tai un-un:issa, mistä puolestaan seuraa korkeampi taajuusalueen yläpää. **Huomaa, että koska tämä on suurtaajuusmuuntaja, sydämen on kestävä kuumenematta koko maksimilähetysteho!** Tämä on riittävä rajoitus yhden bandin balunille. **Mutta jos baluni on tarkoitettu monialueantennille, se saattaa joutua kestäämään MYÖS antennin SWR:n jopa 10:1 asti!**

On yleisesti hyväksytty, että jännitebalunin käämin induktiivisen reaktanssin tulee olla vähintään neljä (4) kertaa balunin liitäntäimpedanssi alimmalla käyttötaajuudella. Niinpä esimerkiksi 50 Ω koaksiaalikaapelille käämin induktiivisen reaktanssin tulee olla vähintään 200 Ω . Käytännössä tämä tarkoittaa, että 160 ... 10 metrille ja 1500 W:lle tarvitaan melko iso ferriittitoroidi. Toisaalta voidaan pinota muutama pienempi samasta materiaalista tehty toroidi päällekkäin ja käämiä baluni koko pinon läpi. Älä kuitenkaan käytä liian pieniä sydämiä

tai käämi ei mahdu keskireiästä. Huomaa, että saatava induktanssi samalla kierrosmäärällä kaksinkertaistuu aina, kun sydämiä määrä kaksinkertaistetaan. Toisaalta tarvittavat vähemmän kierroksia sydänpinoon saataksesi saman induktanssin. Joten jos esimerkiksi yhden (1) toroidisydämen induktanssi 16 kierroksella on 0.96 µH:

- Induktanssi kahdella (2) pinoitulla sydämellä on 1.92 µH, joten tarvittavat vain 8 kierrosta 0.96 µH:ä varten.
- Induktanssi neljällä (4) pinoitulla sydämellä on 3.84 µH, joten tarvittavat vain 4 kierrosta 0.96 µH:ä varten.
- Induktanssi kahdeksalla (8) pinoitulla sydämellä on 7.68 µH, joten tarvittavat vain 2 kierrosta 0.96 µH:ä varten.

Balunille tai un-un:ille tarvittavan sydämen valintaan ei ole mitään helppoa tapaa. Olen kuitenkin käyttänyt menestyksekkäästi F1FRV:n taulukkolaskentapohjia, jotka ovat saatavissa osoitteesta:

http://f1frv.free.fr/main3c_Baluns.html . Sivun on ranskankielinen. Vieritä kokonaan alas "Téléchargement des feuilles de calculs et de quelques docs:" ("Lataa laskentataulukot ja niihin liittyvät dokumentit:") -riville ja klikkaa "BALUNS.ZIP"-linkkiä. Tallenna *.ZIP-tiedosto sopivaan kansioon tietokoneessasi ja pura sitten pakatut tiedostot samaan kansioon. Avaa "Baluns_rev0b2-.XLT"-tiedosto, joka on tarkoitettu toroidisydämisille baluneille. Voit myös käyttää "Binocular_Baluns_rev2b2-.xlt"-tiedostoa, joka on tarkoitettu 2-reikäisille baluneille. Nämä ovat Excel-tiedostoja sekä englanniksi että ranskaksi. BALUNS.ZIP:ssä on myös useita muita tiedostoja ja kansioita. Huomaa kuitenkin, että vaikka nämä laskentataulukot ovat suurelta osin itsestään selviä, siinä on silti oltava jonkinlainen peruskäsitys suurtaajuusmuuntajan suunnittelusta tai lopputuloksena on baluni, joka ei toimi tarkoitetulla tavalla. Yksi tärkeä asia on huolehtia siitä, että käämi kattaa suhteellisen tasaisesti n. 75 ... 80 % sydämen ympäröimästä. Niinpä kierrosmäärän tulee olla jonkin verran järkevä. Esim. 2 kierrosta on aivan liian vähän, 5 - 6 kierrosta on jo OK.

Monet ovat tehneet kokeita erilaisilla suurtaajuustehoilla sekä erikokoisilla ja -materiaalisilla sydämillä, mutta yleensä vain "laboratorio"-ympäristössä ja baluniin tai un-un:iin kytketyllä resistiivisellä kuormalla. Paras ferriitti laajakaistaisiin HF baluneihin ja un-un:eihin (160 m ... 10 m ja jopa 6 m) näyttää nykyään olevan materiaali #61 (Micrometals/Amidon). Se tarjoaa paremman yleisen suorituskvyn kuin aikaisemmin käytetty materiaali #43. Voit kuitenkin käyttää myös muita materiaaleja taajuus- ja kaistanleveystarpeittesi mukaan.

Huom! Yllä mainittujen F1FRV:n laskentataulukoiden lisäksi en ole löytänyt mitään järkeviä suosituksia ferriittitoroidisydämen valintaan jännitebalunille tai -un-un:ille. Esimerkiksi internetistä löytyy paljon baluniohjeita, mutta niissä EI KOSKAAN kerrota balunin taajuuskaistaa tai tehonkestoja. Toisaalta kaupalliset valmistajat ilmoittavat balunin tehonkeston ja taajuuskaistan, mutta EIVÄT KOSKAAN kerro sydämen kokoa ja materiaalia. Joten valitettavasti en pysty antamaan tarkempia ohjeita tästä aiheesta.

D.1.b Balunin tai un-un:in käämiminen

Balunin tai un-un:in käämimiseen on erilaisia tapoja, riippuen osaltaan tarvittavasta impedanssin muuntosuhteesta. Katso käämimisohjeita esim. RSGB:n tai ARRL:n antennikäsikirjoista tai monista internet-lähteistä.

Balunin tai un-un:in käämin impedanssin (eli induktiivisen reaktanssin) on oltava riittävän korkea alimmalla taajuudella, jolla balunia käytetään. On yleisesti hyväksytty, että jos 50 Ω puolella on vähintään 4 kertaa tarvittava impedanssi ($4 \times 50 \Omega = 200 \Omega$) alimmalla taajuudella, yksikkö toimii riittävän hyvin kaikilla taajuuksilla, joille se on suunniteltu. Toisen puolen impedanssi on laskettava tarvittavasta impedanssin muuntosuhteesta. **Huomaa, että impedanssin muuntosuhde EI OLE käämin kierroslukujen suhde!** Laskelmat ovat suhteellisen yksinkertaisia:

1. Esimerkkinä 4:1 baluni: laske ensin tarvittava induktanssi 50 Ω puolelle: $L = X_L / (2 \times \pi \times f)$, jossa:
 - L = tarvittava induktanssi **Henryinä (H)**. Muunna lopputulos mikroHenryiksi (µH) kertomalla tulos 1000000:lla (= 1 miljoona).
 - X_L = induktiivinen reaktanssi, **tässä tapauksessa 200 Ω**.
 - "2" = pelkkä kerroin.
 - π = matemaattinen vakio π (pii = 3.14159)
 - f = matalin taajuus, jolla balunin tai un-un:in on toimittava **Hertzeinä**. Esim. "1800000" Hz (= 1.8 MHz) tässä esimerkissä.
 - Induktanssi tarvitaan lankakierrosten laskemiseen valitulle sydämelle.

2. Laske tarvittava kierrosten määrä 50Ω puolelle. Jos käytät vain ferriittivalmistajan julkaisemia tietoja, laskelmat ovat melko mutkikkaita. On paljon helpompaa käyttää tähän tarkoitukseen tehtyä PC-ohjelmaa. Olen käyttänyt menestyksekkäästi useiden vuosien ajan ilmaista "mini Ring Core Calculator"-ohjelmaa. Sen on kirjoittanut Wilfried Burmeister, DL5SWB (SK) ja se on ladattavissa osoitteesta: <https://mini-ring-core-calculator.software.informer.com/1.2/>. Ohjelmaa voidaan tietysti käyttää myös kaikenlaisten muiden kelojen laskentaan. Se toimii saksaksi, englanniksi ja ranskaksi:

a. Valitse sydämen tyyppi ylhäällä olevista välilehdistä:

- "Iron powder T" = Amidon:in (Micrometals) T-sydämet (rautajauhe)
- "Ferrite FT" = Amidon:in (Micrometals) FT-sydämet (ferriitti)
- "SIFERRIT" = TDK / Epcos:in valmistamat ferriittisydämet
- "Ferroxcube" = Ferroxcube:n valmistamat ferriittisydämet
- "Unknown Cores" = Sydämen materiaali on tuntematon. Edellyttää ohjelman sisältämän työkalun käyttöä ("R_L ? μ i", ikkunan vasen yläkulma).
- "Air Cores" = Ilmasydämiset kelat
- Valitse tässä esimerkissä "Ferrite FT"

b. Valitse sydämen koko FT50 ... -pudotusvalikosta.

- Valitse tässä esimerkissä "FT114".

c. Valitse sydämen materiaali 43 ... -pudotusvalikosta.

- Valitse tässä esimerkissä "61".

d. Syötä yllä kohdassa 1 laskettu induktanssi ("L") "Inductance"-ruutuun ja valitse μ H ... -pudotusvalikosta induktanssikerroin ("nH", " μ H", "mH" tai "H").

- Syötä tässä esimerkissä "21" (μ H) ja valitse kertoimeksi " μ H".
- Lopputulokset ovat:
 - "Turns" ruudussa näkyy tarvittava kierrosmäärä. (7 tässä esimerkissä). **Huom! toroidisydämen kierrokset lasketaan VAIN kun lanka kulkee sydämen keskireiän läpi! Keskireiän ulkopuolella olevaa lankaa ei lasketa kierroksiin!**
 - "Length (wire)" ruudussa näkyy tarvittava langan pituus sentteinä (cm), 18 tässä esimerkissä. Käytä jonkin verran pitempää lankaa, jotta käämin liitännät voidaan tehdä ongelmitta.
 - "max. D (wire)" ruudussa näkyy langan maksimipaksuus millinä (mm), 5.76 tässä esimerkissä. **Huom! Älä käytä tätä lankapaksuutta balunin tai un-un:in käämimiseen! Sydämelle tulee myös yksi tai useampi muita käämejä, joten on käytettävä paljon ohuempaa lankaa!**

e. Syötä matalin taajuus "Frequency" ruutuun ja valitse MHz ... -pudotusvalikosta taajuuskerroin ("Hz", "kHz", "MHz" or "GHz").

- Syötä tässä esimerkissä 1.8 (MHz) ja valitse kertoimeksi "MHz".

f. Tarkista "XL =" -ruudusta, että induktiivinen reaktanssi on enemmän tai vähemmän oikein.

- Tässä esimerkissä ruudussa lukee "237.504 Ω ", joka on erittäin hyvä 50Ω syöttölinjalle, joka vaatii vähintään 200Ω reaktanssin. On aina parempi poiketa korkeamman reaktanssin suuntaan.

3. Laske kierrosten lukumäärä balunin tai un-un:in "ei-50 Ω " puolelle. Tässä esimerkissä "ei-50 Ω " puolen tarvittava impedanssi on 200Ω , eli tässä suunnitellaan 4:1 balunia. Kaava on melko yksinkertainen:

$T = \text{SQR}(Z1 / Z2)$, jossa:

- T = kierroslukujen **suhde** "ei-50 Ω " puolelle.
- "SQR" = neliöjuuri
- Z1 = suurimpi-impedanssisen puolen impedanssi (200Ω tässä esimerkissä)
- Z2 = pienempi-impedanssisen puolen impedanssi (50Ω tässä esimerkissä)

Joten: $Z1/Z2 = 200 / 50 = 4$ ja neljän neliöjuuri = 2. **Tässä esimerkissä tarvitaan siis 2 kertaa matalampi-impedanssisen puolen kierrosten lukumäärän korkeampi-impedanssiselle puolelle**, eli 14 kierrosta (kohdasta 2.d yllä).

Muista kuitenkin, että tämä on balun tai un-un, joka on kytketty kuin säästömuuntaja. Joten tässä tapauksessa tarvitaan sydämelle kaksi (2) rinnakkaista 7-kierroksista käämiä, jotka on kytketty sarjaan. 50Ω puoli

on kytketty toiseen käämiin ja 200 Ω puoli sarjaan kytkettyjen käämien päihin. Siten saadaan aikaan vaadittu 2:1 kierroslukusuhte (= 4:1 impedanssisuhte):

- **Balunissa** 50 Ω koaksiaalikaapelin vaippa on kytketty käämien väliulosottoon ja keskijohdin käämin yhteen päähän. 200 Ω puoli on kytketty koko kaksoiskäämin yli.
- **Un-un:issa** 50 Ω koaksiaalikaapelin vaippa on kytketty käämin yhteen päähän ja keskijohdin väliulosottoon. 200 Ω puoli on kytketty koko kaksoiskäämin yli.

D.2 Virtabalunit

Nämä yksiköt on tarkoitettu ainoastaan **estämään** suurtaajuuden pääsy koaksiaalikaapelin vaipan **ulkopintaan**, jossa se voi johtua asematilaan ja aiheuttaa siellä ongelmia. Syöttöjohdon säteily voisi myös aiheuttaa ongelmia (häiriöitä) muille lähellä oleville laitteille. Virtabalunilla on normaalisti 1:1 impedanssimuuntosuhde. Niitä on kuitenkin tehty myös syöttölinjan 50 Ω :in impedanssin muuntamiseksi 200 Ω :iin. Tuon tyyppisessä virtabalunissa on käytettävä kahta (2) erillistä sydäntä ja käämejä.

Koska virtabalunin (yhteismuotokuristimen) päätarkoitus on **estää** suurtaajuussignaalit alimmallakin toiminta-
taajuudella, sillä on oltava melko korkea induktiivinen reaktanssi. On yleisesti hyväksytty, että alimmalla toimintataajuudella reaktanssin on oltava vähintään 100 kertaa linjan impedanssi. 50 Ω koaksiaalikaapelia var-
ten se tarkoittaa, että reaktanssin on alimmalla taajuudella oltava vähintään 5000 Ω . Koska virtabalunin sy-
dämen läpi ei saa kulkea suurtaajuustehoa, se voi olla kooltaan melko pieni, mutta johtimien tai kaapelin on
kestettävä suurin lähetysteho. Muista, että koko lähetysteho menee käämin läpi ja kulkee parikäämin johti-
mien välillä tai koaksiaalikaapelin **sisällä**.

On olemassa useita tapoja saada aikaan vaadittu 5000 Ω reaktanssi, kuten:

- Kaksilankainen käämi yhden tai useamman ferriittitoroidin läpi.
- Ohuehkon koaksiaalikaapelin käämiminen yhden tai useamman ferriittitoroidin läpi.
- Useita ferriittiputkia tai -klipsejä asennettuna koaksiaalikaapelin pätkään.
- Tai yllä olevien yhdistelmä.

D.2.a Kaksilankainen käämi toroidisydämelle

On tehtävä 50 Ω parikaapeli, joka käämitään sydämelle. 50 Ω **parikaapelia (ei koaksiaalialia!)** ei ole saatavana kaupallisesti. Tämän linjan on kestettävä suurin lähetysteho lämpenemättä. Sen on myös oltava riittävän pitkä (eli tarpeeksi kierroksia), jotta saavutetaan tarvittava 5000 Ω impedanssi parikaapelin **molemmille lan-
goille** alimmalla toimintataajuudella, sitten kun se on käämitty ferriittisydämelle. Parikaapelin kanssa voi kui-
tenkin tulla ongelmia:

- Parikaapelin tekeminen 50 Ω impedanssille on melko vaikeaa, koska johtimien välisen etäisyyden on oltava hyvin pieni. Ohuilla langoilla tehtynä on linjaimpedanssi aivan liian korkea, joten 50 Ω impedanssin saavut-
tamiseksi tarvitaan melko paksut langat.
- Parilinjan tulee olla erittäin hyvin eristetty sydäimestä ja sen langat toisistaan, koska lähetystehosta, taajuu-
desta ja antennipuolen todellisesta impedanssista riippuen suurtaajuushuippujännite linjan antennin puolei-
sessa päässä voi olla 1000 V tai enemmän. Langat on siis eristettävä erikseen teflonletkulla (tai käytettävä
tefloneristettyä lankaa), jotta estetään ylilyönti sydämeen ja johtimien välillä. Ylimääräinen eriste lisää lanko-
jen välistä etäisyyttä, mikä korottaa merkittävästi linjaimpedanssia.
- Lankaparin etäisyys toisistaan on pidettävä vakiona koko käämin matkan. Parikierrokset erotetaan sitten
toisistaan tarpeen mukaan kattamaan esimerkiksi 80-90 % sydämen ympäryksestä.
- Esimerkki: Jos käytetään $\varnothing$ 2.0 mm lakkapäällysteistä kuparilankaa, 50 Ω saadaan aikaan, kun lankojen
keskeltä-keskelle etäisyys on 2.176 mm, eli lankojen väliin jää 0.176 mm. Mutta kun molemmat langat on
lisäeristetty $\varnothing$ 3.0 mm Teflon-letkulla (seinämän paksuus 0.5 mm), parilinjan impedanssi onkin yli 82 Ω !

D.2.b Koaksiaalikaapeli toroidisydämelle

Kun käytetään oikeaa koaksiaalikaapelia virtabalunin käämiin, ei ole ongelmia itse linjaimpedanssin kanssa. Mutta:

- Kaapelin tulee kestää suurin lähetysteho lämpenemättä. RG-213 kestää minkä hyvänsä radioamatöörite-
hon, mutta se on erittäin jäykkää ja aika paksua. RG-58 kestää 150 W ja se on hieman notkeampaa. Saata-
villa on myös suhteellisen ohuita tefloneristettyjä 50 Ω koaksiaalikaapeleita, jotka kestävät melko suuren lä-
hetystehon. Niitä on suhteellisen helppo käämiä ferriittitoroidille tai tarvittaessa niiden pinoon 5000 Ω reak-
tanssitavoitteen saavuttamiseksi. Esimerkiksi:

- **RG-142:** Halkaisija 4.95 mm. 3.2 kW 30 MHz:iin asti 50 Ω kuormaan.
- **RG-316:** Halkaisija 2.5 mm. 430 W 30 MHz:iin asti 50 Ω kuormaan.
- **Huom! Älä käytä minkäänlaista vaahtoeristettyä kaapeliä toroidisydämelle käämimiseen!** Se oikosulkeutuu ennemmin tai myöhemmin, koska pehmeä vaahtoeriste ei pysty pitämään keskijohdinta paikoillaan toroidisydämen erittäin tiukoissa taivutuksissa.
- Lähetystekhosta, taajuudesta ja antennipuolen todellisesta impedanssista riippuen suurtaajuushuippujännite linjan antennin puoleisessa päässä voi olla jopa 1000 V tai enemmän. Niinpä kaapeli on ehkä lisäeristettävä teflonletkulla, jotta vältetään ylilyönti kaapelin vaipasta sydämeen.

D.2.c Ferriittiputket tai -klipsit koaksiaalikaapeliin

Tämä on todennäköisesti helpoin tapa tehdä virtabaluni. Työnnä vain sopivan kokoisia ferriittiputkia koaksiaalikaapelipätkän päälle tai asenna siihen napsautettavia ferriittipaloja. Todennäköisesti tarvitset useamman kuin yhden putken tai klipsin saavuttaaksesi 5000 Ω reaktanssitavoitteen alimmalla toimintataajuudella. Jos sinulla on L/C-mittari (induktanssi/kapasitanssimittari), mittaa induktanssi **koaksiaalikaapelin vaipan päiden** välillä ja laske reaktanssi: $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$, jossa:

- X_L = Induktiivinen reaktanssi. Sen tulisi olla n. 5000 Ω.
- "2" = pelkkä kerroin.
- π = Matemaattinen vakio π (pii = 3.14159)
- f = Matalin käyttötaajuus **Hertzeinä** (esim. 1.8 MHz = 1800000 Hz)
- L = Mitattu induktanssi **Henryinä (H)**, esim. 53 µH (mikro-Henryä) = 0.000 053 H (Henryä).

Jos (siis "kun") tällainen baluni asennetaan ulos, se kannattaa suojata säältä esimerkiksi lämpökutisteletkulla ja/tai silikonilla. Ferriittimateriaalihan on osittain rautapohjaista ja se voi lopulta ruostua kastuessaan. Minulla ei ole aavistustakaan kuinka paljon, jos ollenkaan, korroosio vaikuttaa balunin suorituskykyyn.

D.3 Hybridibaluni

Sekä jännite- että virtabalunilla on rajoituksensa suurtaajuusmielessä, pääasiassa taajuuskaistassa, impedanssin stabiilisuudessa ja yhteismuodon estämisessä. Hybridibaluni ratkaisee suurimman osan noista ongelmista, mutta se on paljon mutkikkaampi kuin yksinkertainen jännite- tai virtabaluni. Andrew Roos (ZS1AN) kuvasi sen ensimmäisen kerran QEX:n syys-lokakuun numerossa 2005. PDF-tiedosto on ladattavissa osoitteesta: http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/QEX_Sep_2005_p29-34.pdf.

Periaatteessa hybridibalunissa on sarjaan kytketyt jännitebaluni ja symmetrinen virtabaluni. Jännitebaluni sijaitsee 50 Ω syöttölinjan puolella ja virtabaluni "korkeamman impedanssin" puolella:

- 1:1 jännitebaluni käämitään ferriittitoroidisydämelle tavalliseen tapaan.
- Symmetrinen 4:1 virtabaluni käämitään kahdelle erilliselle ferriittitoroidisydämelle, joissa kummassakin on 1:1 virtabaluni. "Ensiöksi" eli 50 Ω puolelle, yksi käämilanka kummastakin sydäimestä kytketään rinnan. "Toisiöksi", eli 200 Ω puolelle, kummankin sydämen toiset käämilangat kytketään sarjaan. Joten nyt meillä on 200 Ω - 50 Ω (4:1) symmetrinen virtabaluni.

Olen rakentanut 1500 W 4:1 hybridibalunin käyttämällä kolmea (3) neljän (4) FT240-43 ferriittitoroidin pinoa (minulla ei tuolloin ollut #61 materiaalin toroideja). Lähetystekhoni on tällä hetkellä 100 W, mutta nyt on yksikö valmiina rakenteilla olevaa 1300 W putkilinukkaa varten. Se on katollani muovikotelossa, tietysti säältä suojattuna ja sen kautta syötän 45 m pitkää OCF (epäsymmetristä) dublettia. Se toimii erittäin hyvin. Kun se päätetään 200 Ω vastukseen korkean impedanssin puolella ja mitataan antennianalysaattorilla jännitebalunin syöttölinjan puolelta, impedanssi pysyy 50 Ω:na (± 0.1 Ω) koko alueen 1.8 MHz:stä 30 MHz:iin. Millään taajuudella ei ole havaittavissa impedanssin laskua tai nousua.

E. Syöttökaapeli

Yleinen väärinkäsitys näyttää olevan, että antennin syöttökaapelin on oltava tietyn pituinen tai että se ei saa olla tietyn pituinen. **Nämä "säännöt" eivät yleensä pidä paikkaansa!** Ne pätevät vain joihinkin erikoistapauksiin, joissa itse syöttöjohtoa käytetään impedanssimuuntajana. (Katso "E.2 Impedanssin sovitusta kaapeleita käyttäen" alla). Normaalisti jokainen sovitettu syöttölinja voi olla minkä pituinen tahansa.

Perusvaatimuksena on, että syöttökaapeli on päätettävä molemmista päistä (lähetin ja antenni) kaapelin nimellisimpedanssiin, esimerkiksi 50 Ω yleisimmin käytetyillä koaksiaalikaapeleilla. Tällöin suurtaajuuden siirto lähtimestä antenniin on tehokkainta ja kaapeli voi olla minkä mittainen tahansa, järkevissä rajoissa. HF-alueilla ei yleensä ole rajoituksia sovitettun kaapelin pituudelle, ellei kaapeli ole monen sadan metrin mittainen. VHF- ja UHF-taajuuksilla kaapelin vaimennus (häviö) on otettava huomioon. Esimerkiksi kaapelia ei ole järkevää lämmittää puolella lähtimen lähtötehosta, jos sen vaimennus käytetyllä taajuudella on -3 dB.

E.1 Syöttökaapelien tyypit

Yleisin radioamatöörien antennijärjestelmissä käytetty syöttölinja on 50 Ω koaksiaalikaapeli. Yleisesti on saatavilla myös monia muita syöttökaapeleita:

- 75 Ω (tai 73 Ω) koaksiaalikaapeli: Nämä kaapelit ovat TV- (ja radio-) antennien ja kaapeli-TV verkkojen standardi, mutta niitä voidaan käyttää myös hamssiantenneissa, varsinkin jos tällaista impedanssia tarvitaan impedanssin sovittamiseen. Yleensä 75 Ω kaapeleiden vaimennus on hieman pienempi kuin saman ulkomitan omaavissa 50 Ω kaapeleissa.
- Parilinjat: Nämä ovat symmetrisiä syöttökaapeleita, joita on saatavilla ainakin 300 Ω ja 450 Ω impedanssinä. Niillä on huomattavasti pienemmät häviöt kuin koaksiaalikaapeleilla, mutta ne on päätettävä symmetrisesti molemmissa päissä (kuten antennin taittodipolisäteilijä ja lähtimen päässä oleva baluni). Vuosia sitten 300 Ω (tai 240 Ω) parikaapelia käytettiin analogisen (musta/valko) TV:n antenneissa. Parilinjojen haittapuolena on, että ne on pidettävä vähintään 3 x kaapelin leveyden etäisyydellä kaikesta sähköä johtavasta, kuten mastoputket, vesikourut, metallikatot, puut (kun ne ovat märkiä) jne.
- Avolinjat: Nämä ovat "suuri-impedanssisia" symmetrisiä syöttölinjoja ja niissä on huomattavasti pienemmät häviöt kuin koaksiaalikaapeleissa. Ne on päätettävä enemmän tai vähemmän symmetrisesti linjan "nimellisimpedanssiin" molemmissa päissä. Yleensä avolinjat tehdään kotona käyttämällä kahta rinnakkaista lankaa (eristetyt sähköasennuslangat ovat ihan OK) ja pitämällä ne erillään 10 cm (+/- paljon) pituisilla eristepaloilla esimerkiksi 30 cm välein. Useimmissa tapauksissa linjan tarkka impedanssi ei ole kovin kriittinen, sillä niitä käytetään enimmäkseen monialueisten HF lanka-antennien syöttämiseen ja sellaisen syöttöpisteimpedanssi voi vaihdella paljon eri bandien välillä. Niinpä avolinjan impedanssi voi olla esim. 400 Ω :sta 1000 Ω :iin. Luulisin, että yleisimmin käytetty impedanssi on noin 600 Ω . Netistä löytyy on-line laskureita symmetrisille ja muun tyyppisille syöttökaapeleille. Yksi avolinjan laskin on osoitteessa <http://www.smrcc.org.uk/tools/OpenWire.htm>. Avolinjan haittapuolena on, että se on pidettävä vähintään 3 kertaa linjan leveyden etäisyydellä kaikesta sähköä johtavasta, kuten mastoputket, vesikourut, metallikatot, puut (kun ne ovat märkiä) jne.
- Kaapeleita on saatavana myös muilla impedansseilla. Yllä mainitut ovat yleisimpiä radioamatöörikäytössä.

E.2 Impedanssin sovitus kaapeleita käyttäen

Jokaisen syöttöjohdon mikä hyvänsä pituus toimii impedanssimuuntajana, **jos sitä ei ole päätetty kaapelin nimellisimpedanssiin** yhdessä tai molemmissa päissä. Linjan pituudella ei sinänsä ole merkitystä impedanssin **muuntotapahtumalle**. Mutta, jos syöttölinjaa todella käytetään impedanssin muuntotarkoitukseen antennijärjestelmän sovittamiseksi, esim. balunin sijaan, sovituslinjan pituuden tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Tämä johtuu siitä, että sovituslinjassa itsessään on koko antennijärjestelmän korkein SWR siihen liittyvine suurine häviöineen.

Impedanssin muuntaminen syöttökaapelin pätkillä on yleisessä käytössä VHF-, UHF- ja korkeammilla bandeilla, koska niiden häviöt ovat paljon pienemmät kuin muilla sovituspiireillä. Joskus näitä sovituskaapeleita kutsutaan "koaksiaalibaluneiksi". Niitä käytetään kuitenkin myös tietyntyyppisissä monialueisissa HF-antenneissa balunin sijaan. Vuosia sitten tein 4:1 HF koaksiaalibalunin käämimällä RG-213:aa Ø 11 cm PVC viemäriputken pätkälle syöttämään 600 Ω avolinjaa rinnakkais-OCF dublettiantenniini kaikilla HF-alueilla (160 m - 10 m), katso <https://pa0fri.home.xs4all.nl/Ant/Balun/balun%20eng.htm>. Se baluni toimi erittäin hyvin. Yleisesti ottaen sovitusosan pituus lasketaan osana käyttötaajuuden **sähköistä aallonpituutta**.

Sähköinen aallonpituus ei ole sama kuin suurtaajuussignaalin aallonpituus ilmassa!

Jokainen muu väliaine, kuten koaksiaalikaapeli, parikaapeli, antennilanka jne., hidastaa suurtaajuussignaalin nopeutta, mikä lyhentää aallonpituutta metreissä mitattuna. Ilmassa kulkevan aallonpituuden ja sähköisen aallonpituuden välistä eroa kutsutaan "**nopeuskertoimeksi**" (velocity factor) ja se ilmaistaan prosentteina tai desimaalilukuna suhteessa ilma-aallonpituuteen. Fyysistä (= sähköistä) aallonpituutta tarvitaan kaikenlaisiin

antennijärjestelmän laskelmiin, kuten impedanssin muunnososien kaapelipituuksiin, viritysstubien pituuksiin ja paikkoihin, antennien vaiheistuslinjoihin jne. Esimerkkejä nopeuskertoimesta joillekin väliaineille:

- Ilma ja avaruus: 100% tai 1.00
- 50 Ω koaksiaalikaapeli kiinteällä polyetyleni (PE) eristeellä (RG-58, RG-213): 66% tai 0.66
- 50 Ω koaksiaalikaapeli vaahto-polyetyleni eristeellä (Ecoflex 10): 85% tai 0.85
- 75 Ω koaksiaalikaapeli kiinteällä polyetyleni (PE) eristeellä (RG-59): 82% tai 0.82
- 75 Ω koaksiaalikaapeli vaahto-polyetyleni eristeellä (RG-6): 85% tai 0.85
- 75 Ω koaksiaalikaapeli vaahto-polyetyleni eristeellä (TELLU 13): 80% tai 0.80
- 300 Ω parilinja: 91% tai 0.91
- 450 Ω parilinja: 90% tai 0.90
- 600 Ω avolinja: 98% tai 0.98

Kuten ylläolevasta näkyy, **sähköinen aallonpituus** on useimmissa tapauksissa paljon lyhyempi kuin ilma-aallonpituus, erityisesti koaksiaalikaapeleissa, joten myös todelliset kaapelipituudet ovat fyysisesti lyhyempiä.

Huomaa, että eri kaapelityyppien ja samantyyppisten, eri valmistajien kaapeleiden välillä on merkittäviä nopeuskerroineroja! Joten jos syöttölinjan pätkän on oltava tietyn pituinen (aallonpituuksissa), tarkista käyttämäsi kaapelin tekniset tiedot (älä luota yllä olevaan luetteloon) ja käytä niissä ilmoitettua nopeuskerrointa kaapelin pituuden laskemiseen. Huomaa myös, että mitatun kaapelipituuden tulee sisältää mahdolliset kaapeliliittimet. Tämä ei ole niin kriittistä HF-bandeilla, koska liittimien "pituudet" ovat hyvin pieniä osia aallonpituudesta, mutta se on tärkeää VHF- tai UHF-taajuuksilla ja niistä ylöspäin, missä liittimien "pituudet" ovat merkittävä osa aallonpituudesta.

Esimerkiksi, jos antennin syöttöpisteen impedanssi ei ole 50 Ω, kuten koaksiaalikaapeli lähettimeen vaatii, impedanssisovitus voidaan tehdä syöttöjohdon pätkällä (häviöllisen) balunin sijaan. Etenkin VHF- ja UHF-taajuuksilla kaapelipätkillä sovitus on myös mekaanisesti paljon helpompaa kuin käyttämällä muunlaisia sovituspätkiä. Kaapeleilla sovittamisessa on kuitenkin yksi ongelma, erityisesti HF-bandeilla: Sovitusosa on aina suhteellisen kapeakaistainen ja se mitoitetaan yleensä bandin keskelle. Se toimii vain yhdellä HF-alueella. Jokainen radioamatöörialue vaatii erillisen sovitusosan, mutta niitä ei voi kytkeä rinnan tai sarjaan. Tästä seuraa, että kaapelisovitusta voi käyttää vain yhden bandin antennien kanssa. Jos sovitusosa on suuri-impedanssista kaapelia, kuten parilinja tai avolinja (esim. Windom-antennia varten), sovitus voi kuitenkin toimia useilla HF-hamssialueilla.

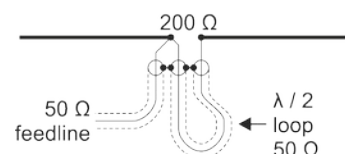
Usein 1/4 sähköisen aallonpituuden mittaista koaksiaalikaapelia voi käyttää impedanssisovitukseen. Siinä tapauksessa tämän **sarjasovitusosan impedanssi** voidaan laskea mille hyvänsä antennin ja syöttökaapelin impedanssille kaavalla $Z_0 = \sqrt{Z_s \times Z_L}$, jossa:

- Z_0 = 1/4 sähköisen aallonpituuden mittaisen sovitusosan impedanssi.
- $\sqrt{Z_s \times Z_L}$ = Neliöjuuri
- Z_s = Lähteen impedanssi (syöttölinja lähettimelle).
- Z_L = Kuorman impedanssi (antennin syöttöpisteen impedanssi).

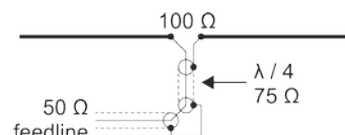
Huomaa, että jos on tarpeen erillisten antennien syöttöpisteiden välisen mekaanisen etäisyyden kattamiseen, on mahdollista käyttää myös 1/4 sähköisen aallonpituuden parittomia kerrannaisia (kuten 3/4, 5/4 jne.) impedanssin sovituskaapeleille. Älä käytä parillisia 1/4 sähköisen aallonpituuden kerrannaisia (kuten 2/4, 4/4 jne.) sovituskaapeleille. Ne eivät toimi tarkoitetulla tavalla!

Koaksiaalikaapelista tehdyissä sovitusosissa olisi paras käyttää mahdollisimman pienihäviöisiä kaapelin pätkiä, jotta voidaan pienentää suuresta SWR:stä aiheutuvia häviöitä näissä osissa, riippumatta syöttölinjan tyyppistä lähettimeen ja yksittäisistä kaapeleista antenniryhmässä. Joitakin yleisesti käytettyjä esimerkkejä impedanssin sovituksesta koaksiaalikaapelin pätkillä:

- a. **Antennin impedanssi on 200 Ω and syöttölinjan 50 Ω:** Käytä 50 Ω kaapelista tehtyä 1/2 sähköisen aallonpituuden mittaista lenkkiä ("loop") antennin sovittamiseen.

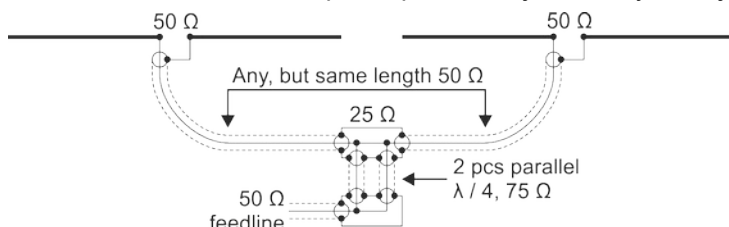


- b. **Antennin impedanssi on 100 Ω and syöttölinjan 50 Ω:** Käytä 75 Ω kaapelista tehtyä 1/4 sähköisen aallonpituuden mittaista sovitusosaa antennin syöttöpisteestä ja antenni on sovitettu 56 Ω:iin. SWR 50 Ω syöttölinjaan on silloin 1.12:1, mikä on riittävän hyvä käytännön tarkoituksiin. Jos



saatavilla on 70 Ω kaapelia sovitussosaa varten, sovitus on vielä parempi: 49 Ω ja SWR syöttölinjaan 1.02:1.

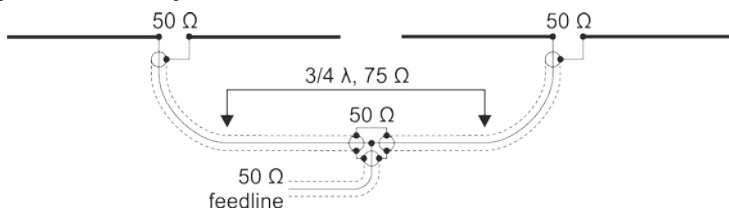
- c. Käytössä on **kaksi (2) 50 Ω antennia ja 50 Ω syöttölinja** lähettimeen. Tässä tapauksessa tarvittavat impedanssimuunnokset 25 Ω :sta 50 Ω :iin. Käyttämällä yllä olevaa kaavaa 1/4 sähköisen aallonpituuden sovitussosaan, impedanssiksi saadaan 35.4 Ω . Tällaista kaapelia ei ole saatavilla, mutta jos kytket kaksi (2) 1/4 sähköisen aallonpituuden 75 Ω kaapelia rinnan, sovitussosan kokonaisimpedanssi on 37.5 Ω . 50 Ω syöttölinjaan on SWR silloin 1.06:1, mikä on oikein hyvä kaikkiin käytännön tarkoituksiin. Jos saatavilla on 70 Ω kaapelia sovitussosaa varten, sovitus on vieläkin parempi: 49.4 Ω ja SWR syöttölinjaan on 1.01:1.



- "Any, but same length 50 Ω " = Minkä hyvänsä, mutta saman mittainen 50 Ω

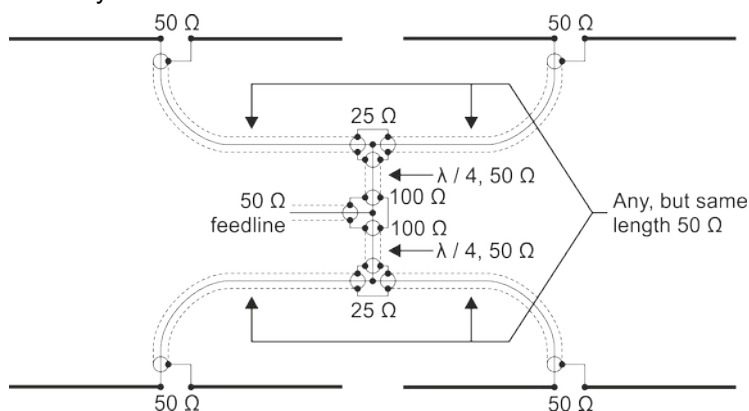
On toinenkin tapa saavuttaa sama tulos. Tässä tapauksessa tarvittavat impedanssimuunnokset 50 Ω :sta 100 Ω :iin. Käyttämällä yllä olevaa kaavaa 1/4 sähköisen aallonpituuden sovitussosaan, impedanssi on 70.7 Ω .

Kytke 3/4 sähköisen aallonpituuden mittaiset 75 Ω kaapelit kummankin antennin syöttöpisteestä 50 Ω syöttöjohtoon ja antennit on sovitettu 56 Ω :iin. 50 Ω syöttölinjaan SWR on silloin 1.12:1, mikä on tarpeeksi hyvä kaikkiin käytännön tarkoituksiin. Jos käytettävissä on 70 Ω kaapelia, sovitus olisi vieläkin parempi. Impedanssi syöttölinjaan olisi 49 ja SWR 1.02:1.



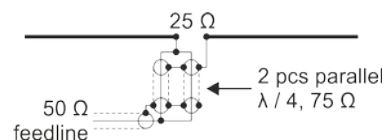
Käytän tätä sovitusmenetelmää 2 x 4 elementtiselle 2 m antenniryhmälle katollani. Suunnittelin antennieni syöttöpisteen impedanssiksi 56 Ω , joten sovitus 50 Ω syöttölinjaan on 50 ohmia ja SWR on 1.0:1.

- d. Käytössä on **neljän (4) 50 Ω antennin ryhmä ja 50 Ω syöttölinja** lähettimeen. Jos kytket kaikki neljä antennia rinnakkain, kokonaisimpedanssi olisi vain 12.5 Ω ja SWR olisi 4:1! Älä siis tee näin, vaan kytke nuo neljä antennia yhteen alla olevan piirroksen mukaisesti. Sovitussysteemiä voi samalla periaatteella laajentaa esim. 8 tai 16 antennin ryhmälle.

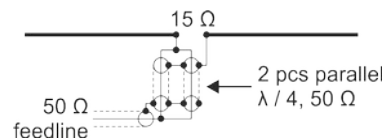


- "Any, but same length 50 Ω " = Minkä hyvänsä, mutta saman mittainen 50 Ω

e. **Antennin impedanssi on $25\ \Omega$ and syöttölinjan $50\ \Omega$:** Käyttämällä yllä olevaa kaavaa $1/4$ sähköisen aallonpituuden sovitusosaan, impedanssi on $35.4\ \Omega$. Tällaista kaapelia ei ole saatavilla, mutta jos kytketään kaksi (2) $1/4$ sähköisen aallonpituuden mittaista $75\ \Omega$ kaapelia rinnan, on kokonaisimpedanssi on $37.5\ \Omega$ ja kahdella $70\ \Omega$ kaapelilla $35\ \Omega$. $75\ \Omega$ ohmin kaapeleilla SWR $50\ \Omega$ syöttölinjaan on $1.12:1$, mikä on riittävän hyvä kaikkiin käytännön tarkoituksiin. Jos saatavilla on $70\ \Omega$ kaapelia sovitusosaan, sovitus olisi vieläkin parempi: syöttölinjaan saadaan $49\ \Omega$ ja $1.02:1$ SWR.



f. **Antennin impedanssi on $15\ \Omega$ and syöttölinjan $50\ \Omega$:** Käyttämällä yllä olevaa kaavaa $1/4$ sähköisen aallonpituuden sovitusosalle, impedanssi on $27.4\ \Omega$. Tällaista kaapelia ei ole saatavilla, mutta jos kytketään kaksi (2) $1/4$ sähköisen aallonpituuden $50\ \Omega$ kaapelia rinnan, on kokonaisimpedanssi on $25.0\ \Omega$. Tuloksena impedanssi $50\ \Omega$ syöttölinjaan on $54.8\ \Omega$ ja SWR on $1.10:1$, mikä on tarpeeksi hyvä kaikkiin käytännön tarkoituksiin.



g. **Muita sovitusapoja:** On myös monia muita tapoja käyttää kaapeleita impedanssin sovittamiseen, kuten:

- Kaksi eri impedanssista kaapelinpätkää sarjassa. Alkuperäinen verkkosivusto on poissa käytöstä, mutta voit ladata laskimen osoitteesta <https://www.softpedia.com/get/Science-CAD/Series-Matching-Calculator.shtml>.
- Pawsey baluni (kts. esim. <https://owenduffy.net/blog/?p=14882>)
- Sovitusstubi: Avoimella tai oikosuljetulla kaapelitumpilla voidaan sovittaa mitä hyvänsä impedanssisuhteita (kuten mikä tahansa antenni-impedanssi $50\ \Omega$ syöttölinjaan). Yritin tuloksetta löytää internetistä toimivaa laskinta stubisovitusta varten, mutta saatavilla on monia muita resursseja kaavoineen ja Smith-karttoineen.

F. SWR ja lähetysteho

SWR ("Standing Wave Ratio", "Seisovan Aallon Suhde") on osoitus **antennijärjestelmän** sovituksen laadusta.

SWR pitäisi oikeammin lyhentää VSWR ("Voltage Standing Wave Ratio", "Jännitteen Seisovan Aallon Suhde"), koska se mitataan yleensä jännitteinä, jotka ovat verrannollisia suoraan ja heijastuneeseen tehoon. $1.0:1$ SWR tarkoittaa, että antennijärjestelmä on täydellisesti sovitettu ja mikä tahansa tätä korkeampi lukema (esim. $1.5:1$ tai $2.3:1$) tarkoittaa, että antennijärjestelmässä on epäsovitusta. **Mutta huomaa: SWR-mittari mittaa sovitustilanteen vain siinä kohdassa antennijärjestelmää, jossa sen mittasilta sijaitsee.** Epäsovitusilanteessa SWR-mittarin näyttämä lukema pätee siis vain kyseiselle antennijärjestelmän pisteelle, eikä se läheskään aina ole antennin syöttöpisteen tai lähtimen lähdon SWR. **Huomaa myös, että SWR-mittari näyttää vain impedanssisuhteen verrattuna $50\ \Omega$ ohmiin. Se ei näytä, onko impedanssi suurempi tai pienempi kuin $50\ \Omega$.** SWR-lukema on aina $1.00:1$ tai sitä suurempi. Se ei voi koskaan olla pienempi kuin $1.00:1$.

Huom! Pidä aina SWR-mittaria silmällä lähettäessäsi! Tämä on erityisen tärkeää, jos käytät lineaari-vahvistinta! Lähettimen suurtaajuuslähtötehon on mentävä jonnekin ja se voi aiheuttaa vaurioita korkean SWR:n tilanteessa! Jos SWR on normaalia korkeampi, se tarkoittaa, että antennijärjestelmälle on tapahtunut jotain! Esimerkiksi:

- Antennin syöttökaapeli on vahingoittunut tai kytkemättä.
- Antenniviritin on säädetty väärin.
- Itse antenni on vahingoittunut.
- Syöttökaapelissa oleva baluni on vahingoittunut.
- jne.

SWR:n laskeminen on erittäin helppoa, jos tiedät sovittamattoman liitoksen kaksi impedanssia, esim. syöttölinjan impedanssi ja antennin syöttöpisteen impedanssi. Yleensä syöttölinjan impedanssi tunnetaan aina: $50\ \Omega$ yleisimmillä koaksiaalikaapeleilla. Riippuen antennin syöttöpisteen impedanssista, käytä seuraavia kahta kaavaa:

- Antennin syöttöpisteen impedanssi on suurempi kuin kaapelin impedanssi: **SWR = Z_a / Z_c** , where:
 - SWR = Sesovan Aallon Suhde desimaalilukuna
 - Z_a = Antennin syöttöpisteen impedanssi
 - Z_c = Kaapelin nimellisimpedanssi
 - Esimerkiksi: Antennin impedanssi on 135 Ω , syöttölinjan impedanssi 50 Ω : SWR = 135/50 = 2.70:1 **tai**
Antennin impedanssi on 50 Ω , syöttölinjan impedanssi 50 Ω : SWR = 50/50 = 1.00:1
- Antennin syöttöpisteen impedanssi on pienempi kuin kaapelin impedanssi: **SWR = Z_c / Z_a** , where:
 - SWR = Sesovan Aallon Suhde desimaalilukuna
 - Z_c = Kaapelin nimellisimpedanssi
 - Z_a = Antennin syöttöpisteen impedanssi
 - Esimerkiksi: Antennin impedanssi on 28 Ω , syöttölinjan impedanssi 50 Ω : SWR = 50/28 = 1.79:1 **or**
Antennin impedanssi on 50 Ω , syöttölinjan impedanssi 50 Ω : SWR = 50/50 = 1.00:1

Kun antennijärjestelmän sovitus ei ole täydellinen (eli SWR on suurempi kuin 1.0:1), lähetimen teho (= suora teho) heijastuu osittain takaisin antennin syöttöpisteestä (= heijastunut teho). Lähetimen päässä heijastunut teho heijastuu jälleen osittain takaisin antennia kohti, koska lähetin "näkee" impedanssin, joka poikkeaa sille määritellystä kuormitusimpedanssista (useimmiten 50 Ω). Nämä kaksi heijastusta tapahtuvat toistuvasti, kunnes kaikki kyseisen suurtaajuusaallon teho on hävinnyt joko säteilynä antennista tai syöttölinjan häviön vuoksi.

Jokaisessa syöttökaapelissa on häviöitä (vaikkakin ne voivat olla melko pieniä), mikä riippuu linjan sisäisestä häviöstä (metriä kohti), kaapelin pituudesta ja toimintataajuudesta. Mitä pidempi kaapeli on, sitä enemmän siinä on häviötä ja mitä korkeammalle taajuudelle mennään, sitä enemmän siinä on häviötä (metriä kohti). Joten, joka kerta, kun "sama suurtaajuusaalto" kulkee kaapelin läpi, osa tehosta menetetään lämpönä.

Valitettavasti radioamatööriyhteisössä on yleisenä väärinkäsityksenä, että heijastunut teho "hukkuu" lähetimen lähtöpiireihin ja voi aiheuttaa siellä vahinkoja. **Yleisesti ottaen tuo ei ole totta!** Periaatteessa kaikki lähetimen teho (miinus syöttölinjan edestakaisista heijastuksista aiheutuva häviö) säteilee aina antennista. Syöttölinjan häviö on tärkein syy pyrkiä alhaiseen SWR:ään, koska korkeammilla SWR-lukemilla suurtaajuussignaalin on "matkattava" koko syöttökaapelin pituus useammin edestakaisin, ennen kuin antenni sen säteilee ja jokainen "matka" lisää tehohäviötä. Pienemmillä SWR-lukemilla häviö ei kuitenkaan välttämättä ole merkittävä. Lisätietoja löytyy esim. K5DVW:n artikkelista "Understanding SWR by example" ("SWR:n ymmärtäminen esimerkkien avulla"), joka on ladattavissa osoitteesta:
<https://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/q1106037.pdf>

Joissakin erityistilanteissa, kun SWR-lukema on erittäin korkea (esim. 5.0:1 tai enemmän), lähetin voi **teoriassa** vaurioitua:

- Lähetimen "näkemä" kuormitusimpedanssi on erittäin alhainen, yksinnumeroisten ohmien alueella. Tällöin lähetimen pääteaste voi joutua syöttämään ulos enemmän suurtaajuusvirtaa, kuin mille se on suunniteltu. Tämä voi johtaa pääteasteen ylikuumenemiseen ja vaurioihin.
- Lähetimen "näkemä" kuormitusimpedanssi on erittäin korkea, 3- tai 4-numeroisten ohmien alueella. Tällöin lähetimen pääteaste ei ehkä pysty käsittelemään erittäin korkeaa suurtaajuusjännitettä ja pääteasteessa voi tapahtua ylijännitteestä johtuvia vahinkoja.

--- !!! MUTTA !!! ---

- Kaikissa nykyaikaisissa lähetimissä, joissa käytetään bipolaarisia tai MOSFET **transistoreita, on sisäinen suojaus liian korkealle SWR:lle** ja ne alkavat alentaa lähtötehoa pääteasteen suojaamiseksi, kun SWR ylittää ko. laitteen suunnittelurajan (usein 2.0:1). Suuritehoisissa lineaarisissa vahvistimissa on yleensä ALC-lähtö ("Automatic Level Control", "Automaattinen Tason Sääto") transceiveriin, joka huolehtii ohjaustehon alentamisesta lineaarivahvistimelle (eli se alentaa suurtaajuusjännitettä ja -virtaa).
- **Putkilähetimissä** ei yleensä ole sisäistä suojausta, mutta **ne myös sietävät paremmin korkeaa SWR:ää**. Lineaarisissa putkivahvistimissa on myös usein ALC-lähtö transceiverille:
 - Putken sisäinen resistanssi on suhteellisen korkea, eikä se yksinkertaisesti pysty syöttämään kovinkaan paljoa enempää suurtaajuusvirtaa matalaimpedanssiseen kuormaan, kuin mille pääteaste on suunniteltu. Tästä seuraa, että suurtaajuusjännite lähetimen lähdössä laskee ja lähtöteho laskee automaattisesti pienemmillä kuormitusimpedansseilla.
 - Putket toimivat melko korkealla anodijännitteellä ja yleensä ne sietävät anodijännitteeseen nähden moninkertaisia tilapäisiä suurtaajuusjännitteitä. Jos suuri-impedanssinen kuormitustila jatkuu pitkään (lähetyksen aikana), putken anodi voi alkaa ylikuumenemaan, mikä voi mekaanisesti vaurioittaa itse putkea

(lasikupu sulaa tai keramiikkakuori halkeaa). Tämä johtuu siitä, että putki ei pääse eroon kaikesta suurtaajuustehosta antennin suuntaan, joten ylimääräinen teho hukkaantuu lämpönä anodissa.

F.1 Syöttölinjojen häviöt

Silloinkin, kun syöttökaapeli on päätetty nimellisimpedanssiin molemmissa päissä (eli mitattu SWR on 1.0:1), syöttölinjassa on silti sisäinen häviö, joka riippuu kaapelin tyypistä ja toimintataajuudesta. Syöttölinjan suurtaajuushäviö muuttuu lämmöksi, lähinnä kaapelin sisäisessä eristemateriaalissa. Pienihäviöisissä koaksiaalkaapeleissa sisäinen eristys on pääosin ilmaa, suurempihäviöisissä kaapeleissa yleensä jotakin muovia (usein polyetyleeniä). HF-alueilla häviö ei yleensä ole merkittävä, mutta VHF-, UHF- ja korkeammilla taajuuksilla syöttöjohto on pidettävä mahdollisimman lyhyenä. Ei esimerkiksi kannata lämmittää kaapelia puolella lähettimen lähtötehosta, jos itse kaapelissa lähettimestä antenniin on -3 dB häviö. Jos mitattu SWR on suurempi kuin 1.0:1, kaapelin sisäinen häviö on edelleen olemassa, mutta kokonaishäviö kasvaa suurtaajuussignaalin edestakaisten heijastusten vuoksi. *Huomaa, että kaikki kaapelivalmistajien vaimennusarvot on aina annettu vain sovitetulle linjalle, eli kun SWR on 1.0:1. Vaimennus kasvaa SWR:n kasvaessa.*

Erityisesti VHF- ja UHF-taajuuksilla on otettava huomioon myös seuraava tilanne:

- SWR-mittari on syöttölinjan lähettimen puoleisessa päässä.
- Koaksiaalkaapelissa on tietenkin jonkinlainen häviö, sanotaan nyt vaikka -3 dB.
- Tässä tapauksessa antennissa voi olla melko korkea SWR (esim. 5:1), mutta syöttöjohtoon häviön takia, joka piilottaa antennipään SWR:n, mittarin osoittama SWR voi olla lähes täydellinen (ts. 1.0:1). **Joten SWR-mittari ei näytä oikein.** Antennin säteilemä signaali heikkenee huomattavasti lähettimestä saatavaan verrattuna ja hukattu osa tehosta muuttuu lämmöksi itse koaksiaalkaapelissa.
- Tässä yksi äärimmäinen esimerkki: Ota 100 metrin kela RG-58:aa. Kytke toinen pää SWR/tehomittarin kautta esimerkiksi 100 W, 70 cm (UHF) lähettimeen. Jätä toinen pää auki. Lähetin toimii onnellisesti täydellä teholla ja 1.0:1 SWR:llä kaapeliin, vaikka sen toisessa päässä ei ole mitään. Jonkin ajan kuluttua kaapeli alkaa lämmetä (sen voi tuntea vaikka kädellä), koska kaikki lähettimen teho häviää kaapeliin.

Joidenkin kaapelityyppien vaimennuksia:

Katso myös huomautukset alla olevan taulukon jälkeen!

Alla olevassa taulukossa on vaimennusarvot eri taajuuksille 100 metrin (m) ja 100 jalan (ft) pituisissa kaapeleissa, kun kaapeli on päätetty nimellisimpedanssiin molemmissa päissä.

Kaapelin tyyppi	Taajuus (MHz)	Vaimennus (dB/100 m / dB/100 ft)	Taajuus (MHz)	Vaimennus (dB/100 m / dB/100 ft)
RG-58C/U (50 Ω)	5	2.7 / 0.82	400	30.0 / 9.15
	10	4.1 / 1.25	600	37.9 / 11.6
	50	9.7 / 2.96	1000	51.8 / 15.8
	100	13.9 / 4.24	1500	65.6 / 20.0
	200	20.4 / 6.22	-	-
RG-213/U (50 Ω)	5	1.2 / 0.82	400	13.7 / 4.18
	10	1.8 / 0.37	600	15.9 / 4.85
	50	4.3 / 1.31	1000	23.1 / 7.04
	100	6.4 / 1.95	1500	30.4 / 9.27
	200	9.5 / 2.90	3000	48.9 / 14.9
RG-59B/U (75 Ω)	5	2.4 / 0.73	450	25.7 / 7.84
	55	8.4 / 2.56	600	30.3 / 9.24
	187	16.1 / 4.91	1000	40.0 / 12.2
	300	20.7 / 6.31	-	-

Kaapelin tyyppi	Taajuus (MHz)	Vaimennus (dB/100 m / dB/100 ft)	Taajuus (MHz)	Vaimennus (dB/100 m / dB/100 ft)
RG-11A/U (75 Ω)	50	4.2 / 1.28	500	15.5 / 4.73
	100	6.2 / 1.89	600	17.1 / 5.21
	200	9.3 / 2.84	860	21.1 / 6.43
	400	13.8 / 4.21	1000	23.4 / 7.13
TELLU 13 (75 Ω)	5	1.5 / 0.46	862	19.1 / 5.82
	50	4.7 / 1.43	1000	20.6 / 6.28
	100	6.2 / 1.89	1600	27.1 / 8.26
	200	8.6 / 2.62	2150	31.6 / 9.63
	400	12.6 / 3.84	3000	37.4 / 11.4
300 Ω parikaapeli (DX Engineering)	5	0.43 / 0.13	Ei tietoja korkeammista taajuuksista!	
	10	0.49 / 0.15		
	50	0.89 / 0.27		
450 Ω Parikaapeli (Wireman 552)	5	0.39 / 0.12	400	4.66 / 1.42
	10	0.56 / 0.17	600	6.07 / 1.85
	50	1.35 / 0.41	1000	8.57 / 2.61
	100	2.00 / 0.61	1500	11.4 / 3.76
	200	3.02 / 0.92	3000	19.0 / 4.88
RG-62A/U (93 Ω)	5	1.9 / 0.58	400	17.0 / 5.17
	10	2.4 / 0.73	600	21.1 / 6.41
	50	5.8 / 1.76	1000	27.8 / 8.45
	100	8.2 / 2.49	1500	34.7 / 10.6
	200	11.8 / 3.59	3000	52.6 / 16.0
Ecoflex 10 (50 Ω)	5	0.76 / 0.23	432	8.46 / 2.57
	10	1.14 / 0.35	500	9.12 / 2.77
	50	2.66 / 0.81	1000	13.5 / 4.14
	100	3.80 / 1.16	1500	17.0 / 5.17
	200	5.51 / 1.68	3000	25.4 / 7.72
RG-6 (75 Ω)	67.5	6.29 / 1.91	750	19.8 / 6.02
	100	7.25 / 2.20	1000	23.3 / 7.08
	143	8.46 / 2.57	1500	30.0 / 9.12
	270	11.3 / 3.44	2000	34.9 / 10.6
	540	16.2 / 4.92	-	-
1/2" (Ø 12.7 mm) Heliax (50 Ω)	10	0.67 / 0.21	800	6.46 / 1.97
	50	1.52 / 0.46	1250	8.23 / 2.51
	150	2.67 / 0.82	1500	9.09 / 2.77
	300	3.84 / 1.17	2000	10.7 / 3.25
	450	4.80 / 1.45	3000	13.4 / 4.09

Huom. 1! Yllä olevat kaapelien vaimennusarvot on poimittu eri valmistajien datalehdistä ja ne ovat vain viitteellisiä. Älä pidä niitä absoluuttisina arvoina kaikille kaapeleille, joilla on sama tyyppinumero! Käytä aina oman kaapelisi valmistajan datalehden arvoja!

Huom. 2! Olen havainnut, että jotkut eivät ymmärrä mitä datalehdissä annetut kaapelin vaimennusarvot todellisuudessa tarkoittavat heidän kaapelinsa pituudelle. Datalehden arvot EIVÄT OLE mille tahansa kaapelin pituudelle! Ne pätevät vain määritellyille 100 m tai 100 ft pituuksille! Matematiikka on todella yksinkertaista: jaa toimintataajuudellesi annettu datalehden vaimennusarvo kaapelisi pituudella SUHTEESSA datalehdessä ilmoitettuun 100 metrin tai 100 jalan pituuteen samassa mittayksikössä. Eli esimerkiksi:

- Kaapelin pituus on 15 m: $15 \text{ m} / 100 \text{ m} = 0.15$. Kaapelin vaimennus on datalehdessä annettu arvo kerrottuna 0.15:llä: Esim. datalehti 9.8 dB/100 m x 0.15 = 1.47 dB.
- Kaapelin pituus on 150 m: $150 \text{ m} / 100 \text{ m} = 1.5$. Kaapelin vaimennus on datalehdessä annettu arvo kerrottuna 1.5:llä: Esim. datalehti 9.8 dB/100 m x 1.5 = 14.7 dB.
- Kaapelin pituus on 35 ft (jalkaa): $35 \text{ ft} / 100 \text{ ft} = 0.35$. Kaapelin vaimennus on datalehdessä annettu arvo kerrottuna 0.35:llä: Esim. datalehti 2.96 dB/100 ft x 0.35 = 1.036 dB.
- Kaapelin pituus on 200 ft (jalkaa): $200 \text{ ft} / 100 \text{ ft} = 2.0$. Kaapelin vaimennus on datalehdessä annettu arvo kerrottuna 2.0:lla: Esim. datalehti 2.96 dB/100 ft x 2.0 = 5.92 dB.

Saatavilla on myös muita, paljon pienemmän vaimennuksen omaavia 50 Ω koaksiaalikaapeleita, kuin mitä yllä on lueteltu, kuten 7/8" ($\varnothing$ 22.2 mm) ja 1-1/4" ($\varnothing$ 31.7 mm) Heliax ja muita vieläkin paksumpia. Niitä käytetään pääasiassa suuritehoisissa ULA-radio- ja TV-antenneissa. Ne ovat paljon kalliimpia kuin yleisemmät tyypit ja vaativat erikoisliittimet (kalliita). Pahimmassa tapauksessa kaapeli on ehkä jopa paineistettava kuvalla typpikaasulla, jotta vähäinenkin kosteus ei pääse kaapelin sisään. Kosteus lisää vaimennusta. Mutta jos syöttölinjan häviö toimintataajuudella on todellinen ongelma, kuten 50 kW UHF TV-lähettimen antennisyötössä 200 m korkeaan mastoon, ei ole paljon valinnanvaraa.

Kun valitaan antennijärjestelmän syöttökaapelia, on myös muistettava pari muuta tärkeää asiaa:

- Kaapelin **pienin taivutussäde** (Minimum bending radius) on ilmoitettu kaapelin teknisissä tiedoissa. Kaapelia ei saa taivuttaa terävämille "mutkille" tai tiukempiin kieppeihin kuin mitä on ilmoitettu, koska jos niin tehdään, jokin kaapelissa (etenkin sen nimellisimpedanssi) ei täytä speksejä ja jokin (kuten kaapelin vaippa ja/tai keskijohdin) voi jopa vioittua ilman että mitään näkyy kaapelin ulkopuolella.
- Kiinteäeristeiset koaksiaalikaapelit (kuten RG-213) ovat mekaanisesti paljon **vahvempia**, mutta niillä on myös suurempi vaimennus. Vaahtoeristeisissä koaksiaalikaapeleissa (kuten Ecoflex 10) on pienempi vaimennus, mutta ne ovat myös mekaanisesti **heikompia**. Vaahtoeristeisillä kaapeleilla on taipumus mennä oikosulkuun, varsinkin liian tiukoissa mutkissa liittimien lähellä, koska pehmeä eristevaahto ei pysty pitämään keskilankaa paikoillaan kaapelin keskellä. Lisäksi, jos esimerkiksi kaapeliliitin vaatii juottamista, vaahtoeristys sulaa paljon helpommin kuin kiinteä eristys ja oikosulku voi syntyä jo siinä vaiheessa.

F.2 Kaapelit, liittimet ja lähetysteho

Kaapelin ja siihen liittyvien liittimien tehonkestolla on rajoituksensa. Suurin sallittu teho riippuu myös paljon lähetystaajuudesta ja kaapelin SWR:stä.

Lähettimen tarkan lähtötehon mittaaminen voi olla hieman ongelmallista. Yleisesti ottaen radioamatöörikäyttöön myytävät suurtaajuusteho- ja SWR-mittarit eivät ole hyvin kalibroituja ja niiden tarkkuus ei juuri koskaan ole parempi kuin ± 10 %. Tarkkuus myös vaihtelee paljon taajuuden mukaan, joten se voi olla vieläkin huonompi, esimerkiksi ± 15 % tai ± 20 %. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jos mittari näyttää esimerkiksi 100 W, lähettimen todellinen lähtöteho voi olla missä tahansa 80 W ja 120 W välillä. Lisävirhettä syntyy, jos mittarissa on "perinteiset" osoitinmittarit, sillä asteikon tarkkuudesta ei voi olla varma ja mittarin osoittimen lukeminen lisää virhettä. Yleensä digitaalinen näyttö teho/SWR-mittarissa on tarkempi kuin osoitinmittari, mutta se riippuu jälleen mittarin kalibroitutarkkuudesta. Ammattimaiset tehomittarit ovat yleensä tarkempia, mutta katso ko. tekniset tiedot. Esimerkiksi tunnetun Bird 43:n speksattu tarkkuus on vain ± 5 % ja vaikka osoitinmittarin asteikko on todennäköisesti tarkka, pienen mittarin lukeminen aiheuttaa lisää virhettä.

Joitakin esimerkkejä suurimmasta sallitusta tehosta eri kaapeleille, kun ne on sovitettu nimellisimpedanssiin molemmissa päissä:

- **RG-58** (50 Ω): 150 MHz = 210 W, 450 MHz = 150 W
- **RG-213** (50 Ω): 50 MHz = 1860 W, 150 MHz = 1074 W, 450 MHz = 620 W, 1000 MHz = 416 W

- **RG-59** (75 Ω): 50 MHz = 452 W, 150 MHz = 261 W, 450 MHz = 151 W, 1000 MHz = 101 W
- **RG-11** (75 Ω): 10 MHz = 2800 W, 100 MHz = 810 W, 200 MHz = 450 W, 400 MHz = 370 W, 1000 MHz = 110 W
- **Ecoflex 10** (50 Ω): 10 MHz = 3100 W, 100 MHz = 960 W, 500 MHz = 410 W, 1000 MHz = 285 W
- **RG-6** (75 Ω): 10 MHz = 1500 W, 30 MHz = 750 W. Ei tietoja korkeammista taajuuksista.

Huom. 1! Yllä olevat suurimmat sallitut tehoarvot on poimittu eri valmistajien teknisistä tiedoista. Älä ota niitä absoluuttisina tehoina kaikille kaapeleille, joilla on sama tyyppinumero! Käytä aina oman kaapelisi valmistajan datalehden arvoja!

Huom. 2! Jos kaapelin matkalla on merkittävää SWR:ää (esim. yli 1,5:1), suurinta sallittua tehoa on vähennettävä paljon, koska suurtaajuusjännite ja/tai -virta ylittävät kaapelin mitoitusarvot. Nyrkkisääntö: Jaa määritetty tehoarvo SWR-lukemalla. Esimerkiksi: $SWR = 1.5:1$, speksattu maksimiteho on 150 W, joten sallittu maksimiteho on tässä tapauksessa $150 / 1.5 = 100$ W. Yleensä tämä ei ole ongelma sovitetuissa syöttölinjoissa, mutta se on tärkeä impedanssisovituksen käytetyssä kaapelipätkässä (kts. D.2 edellä) ja esimerkiksi syöttölinjoissa antennivirittimestä antenniin, koska SWR näissä linjoissa voi olla melko korkea.

Joitakin esimerkkejä suurtaajuustehoista, joita itse liittimet kestävät, kun liitettyssä kaapelissa ei ole SWR:ää (eli SWR on 1.0:1). Liittimen kautta sallittu maksimiteho laskee taajuuden noustessa. Huomaa, että liittimen suurtaajuustehon kestoa ei yleensä ole speksattu. Määritetty on suurin (DC) jännite ja suurin (DC) virta, mutta niistä ei voi määrittää suurtaajuustehon kestoa pintailmiön vuoksi:

- **UHF (PL-259 / SO-239)**: 100 MHz = 500 W.

Huom! UHF-liittimet eivät ole 50 Ω liittimiä, vaikka niitä käytetäänkin paljon radioamatöörilaitteissa. Teoreettinen impedanssi on noin 35 Ω, joten näitä liittimiä tulisi käyttää vain HF, 6 metrin ja mahdollisesti 2 metrin alueilla, joissa liittimen "pituus" on pieni osa aallonpituutta eikä vaikuta paljoa SWR:ään. Älä koskaan käytä UHF-liittimiä 70 cm tai korkeammilla bandeilla. Jotkut hamssit kutsuvat UHF:ää "ar-meeratuksi banaaniksi". Huomaa myös, että koaksiaalikaapelin vaippa tulee aina juottaa UHF-liittimeen. Juottamattomat vaippaliitännät ovat näissä liittimissä melko epäluotettavia ja voivat aiheuttaa odottamattomia tilanteita antennijärjestelmään. UHF-liitin suunniteltiin 1930-luvulla, jolloin kaikkia yli 30 MHz:n taajuuksia pidettiin UHF:nä (Ultra High Frequency = Ultrakorkea taajuus).

- **BNC (50 Ω)**: 1000 MHz = 316 W.
- **BNC (75 Ω)**: 1000 MHz = 316 W.
- **N (50 Ω)**: 20 MHz = 5000 W, 2000 MHz = 500 W.
- **F (75 Ω)**: Näitä liittimiä käytetään pääasiassa TV- ja satelliittiantenniverkoissa yli 2 GHz:n taajuuksiin asti.

Ne ovat nopeita ja helppoja asentaa kaapeleihin. En ole löytänyt niille mitään tehonkestotietoja. Mutta, koska koaksiaalikaapelin keskilankaa (usein pinnoittamatonta kuparia) käytetään urosliittimen keskipiikkinä, jolla on hieman epäluotettava kosketus naarasliittimeen, tehonkesto ei voi olla kovinkaan suuri. Arvauksena: enintään 100 W HF-alueilla ja 10 W VHF:llä.

- **Kaikki ulkona olevat kaapeliliitännät on suojattava säältä**, jotta liittimiin ja kaapeleihin ei pääse kosteutta ja vettä. Pienikin vesimäärä aiheuttaa korroosiota ja lisää merkittävästi kaapelin häviöitä. Käytän tähän tarkoitukseen itesulautuvaa kumiteippiä ja/tai silikonია.

Huom. 1! Yllä olevat suurimmat sallitut tehoarvot on poimittu eri valmistajien datalehdistä. Älä pidä niitä absoluuttisina tehoina kaikille samantyyppisille liittimille! Käytä aina omien liittimesi valmistajan datalehden arvoja!

Huom. 2! Jos kaapelin matkalla on merkittävää SWR:ää (esim. yli 1.5:1), liittimen suurinta sallittua tehoa on vähennettävä paljon, koska suurtaajuusjännite ja/tai -virta ylittää liittimen suunnitellut arvot. Nyrkkisääntö: Jaa määritelty tehoarvo SWR-lukemalla. Esimerkiksi: $SWR = 1.5:1$, määritelty suurin teho on 500 W, joten sallittu maksimiteho on tässä tapauksessa $500 / 1.5 = 333$ W. Yleensä tämä ei ole ongelma sovitetuissa syöttökaapeleissa, mutta se on tärkeä impedanssin sovituskäytösten liittimille (katso D.2 edellä) ja esimerkiksi antennivirittimen ja antennin välisen syöttöjohtojen liittimille, koska SWR näissä linjoissa voi olla melko korkea.

Jotkut radioamatöörit sanovat käyttävänsä kaikkia yllä mainittuja kaapeleita ja liittimiä (paitsi RG-6, TELLU 13 ja F-liitin) 1500 W:n (ja suuremmalla) suurtaajuusteholla HF- ja VHF-taajuuksilla ilman ongelmia. Ei kui-

tenkaan voi tietää, miten heidän antennijärjestelmänsä on rakennettu ja millaisille mekaanisille ja sähköisille rasituksille kaapelit ja liittimet itse asiassa altistuvat. Lisäksi: mitä he tarkoittavat 1500 W:n teholla?:

- Lineaarivahvistimen **ottotehoa**? Tämän tehon vahvistin ottaa sähköverkosta, eikä sillä ole paljoakaan tekemistä vahvistimen lähtötehon kanssa, mikä tarvitaan kaapeleita ja liittimiä varten. Suurtaajuuslähtöteho on yleensä n. 50 % luokkaa ottotehosta. Suuritehoisen suurtaajuusvahvistinasteen teoreettinen hyötysuhde on noin 58 %, mutta todellisuudessa tuota ei voi koskaan saavuttaa piirihäviöiden takia.
- **SSB-piikkitehoa** (PEP)? Useimmissa tapauksissa **keskimääräinen** suurtaajuusteho SSB:tä käytettäessä on noin 15–25 % SSB:n piikkitehosta. Antennijärjestelmän lämpenemistä aiheuttaa keskimääräinen teho, ei piikkiteho.
- Joten todellinen heidän käyttämänsä **keskimääräinen** suurtaajuusteho voi olla vain 90 W!

Joka tapauksessa kannattaa kuunnella noita juttuja harkiten, ennen kuin käyttää niitä omassa antennijärjestelmässä. En ole löytänyt muita **luotettavia speksejä suurtaajuusteholle** (siis valmistajilta), kuin nuo muutamat yllä annetut arvot.

Omat valintani syöttökaapeleille ja suurtaajuusliittimille ovat:

HF alueet: - RG-58 100 W tai 150 W lähetystehoon saakka.

- RG-213 suuremmille lähetystehoille (1500 W saakka).

- UHF (PL-259 / SO-239) liittimet.

VHF: - RG-213 100 W tai 150 W lähetystehoon saakka, jos kaapeli on riittävän lyhyt, jotta sen häviö on alle -1 dB ja UHF (PL-259 / SO-239) liittimet.

- Heliac tai Ecoflex 10 pitemmille kaapeleille ja 1500 W lähetystehoon saakka. Kyseiselle kaapelille tehdyt N-liittimet.

UHF: Heliac tai Ecoflex 10 kaikille lähetystehoille ja kaapelipituuksille. Kyseiselle kaapelille tehdyt N-liittimet.

G. Antennivirittimet

Antennivirittimiä käytetään vain HF-alueilla. Niitä olisi erittäin vaikea suunnitella VHF:lle ja UHF:lle, eikä niitä yleensä tarvita siellä, koska itse antennit on sovitettu 50 Ω:iin.

Antennivirittimet ovat erittäin hyödyllisiä saamaan lähetin "näkemään" 50 Ω kuorma, jota varten ne on suunniteltu, varsinkin kun käytössä on jonkinlainen monialueantenni. Huomaa, että vaikka näitä yksiköitä kutsutaan "antennivirittimiksi", **ne eivät viritä antennia, vaan sovittavat antennijärjestelmän siten, että lähettintä kuormitetaan resistiivisellä 50 Ω:lla**. Kun antenniviritin on säädetty oikein, myös vastaanotettavat signaalit ovat mahdollisimman hyviä.

Varoitus! ÄLÄ KOSKAAN käytä kahta antenniviritintä sarjassa samaan syöttölinjaan! Molempien toiminta menee sekaisin, koska ei ole mahdollista tietää, mitä impedansseja kumpikin yrittää sovitaa. Joten, jos sinulla on ulkoinen antenniviritin, **varmista, että transceiverin sisäinen viritin on pois käytöstä (ohitettu)!** Muutoin seurauksena on useimmiten impedanssi, jota transceiverin tehoaste ei pysty käsittelemään.

Huom! Yleensä kaupalliset antennivirittimet on speksattu vain SSB-piikkiteholle (PEP)! Ne vahingoittuvat, jos niitä käytetään jatkuvalla speksatun suuruisella kantoaaltoteholla! Jos haluat käyttää viritintä jatkuvalla kantoaaltoteholla, kuten FM, monet digitaalimodet jne., sallittu maksimilähetysteho on vain noin 1/3 tai 1/4 määritellystä PEP-tehosta.

On myös valmistajia (esim. MFJ), jotka määrittelevät antennivirittimen tehonkeston todella oudolla tavalla. Esimerkiksi yhtä tiettyä viritintä myydään 3000 W virittimenä. Kuitenkin tuo **3000 W tarkoittaa lineaarivahvistimen piikkiottotehoa!** Koska vahvistimen hyötysuhde on 50 % tai vähemmän, viritin kestää enintään 1500 W suurtaajuuspiikkitehoa. Todellisuudessa se sietää ehkä vain noin 375 W jatkuvaa kantoaaltotehoa. Onpahan aikamoinen ero speksatun ja todellisen tehonkeston välillä! Olen itse joutunut useaan otteeseen korjaamaan ja muokkaamaan tuollaista antenniviritintä (MFJ-986 - täläläisen hamssikaverini omaisuutta), koska se ei kestä edes 500 W SSB-tehoa 20 m:llä!

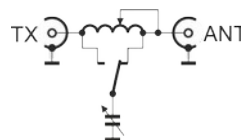
Antenniviritin on passiivinen L/C-piiri, jossa on yksi tai useampi säätökondensaattori ja yksi säädettävä kela. Monia erilaisia antennivirittimiä valmistetaan kaupallisesti ja rakennetaan myös kotona. Ne voivat olla joko käsikäyttöisiä tai automaattisia ja transceiverin sisällä, kotelossa workkimispisteessä tai kauko-ohjattuna an-

tennin luona. Niissä on aina SWR-mittari, joka näyttää SWR:n virittimen lähetinliittimessä ("TX"). **Huomaa, että antennivirittimen näyttämä SWR on VAIN virittimen lähetinliitäntää varten, ts. lähettimen ja virittimen väliselle kaapelille. Se EI ole syöttölinjan SWR virittimestä antenniin!** Jos tarvitset antennivirittimen antennijärjestelmän sovitukseen, se tarkoittaa, että antennin syöttökaapelissa on suhteellisen korkea SWR (esimerkiksi yli 1.5:1). Impedanssin sovitusalue voi vaihdella paljon eri antennivirittimien välillä, vaikka piirin kytkentä olisikin sama.

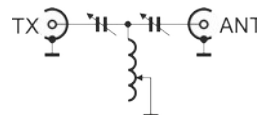
Jotkut radioamatöörit näyttävät ajattelevan, että vain säätökondensaattorit ja rollerikelat ovat OK "korkealaa-tuiseen" antennivirittimeen. Niillä voi tietenkin säätää sovitusta portaattomasti, mutta nuo virittimet ovat yleensä suurempikokoisia ja maksavat paljon enemmän kuin "askeltyyppiset" virittimet, varsinkin suuritehoiset ja automaattiset sellaiset. **Yleensä antennivirittimessä ei tarvita jatkuvasti säädettäviä kondensaattoreita ja kela!** "Askeltyyppinen" antenniviritin pystyy aina sovittamaan antennijärjestelmän riittävän hyvin, ellei antenni itse ole toimintataajuuteen nähden naurettavan lyhyt. Myös jatkuvasti säädettävällä virittimellä on ongelmia sellaisten antennien kanssa! **ET TARVITSE 1.00:1 SWR:ää lähettimen puolelle!** 1.50:1 SWR tai vähemmän on aina OK jokaiselle lähettimelle ja askeltyyppinen viritinkin pystyy lähes aina sovittamaan antennijärjestelmän paremmin kuin 1.05:1 SWR:ään. Syöttölinjan aiheuttamat lisähäviöt 1.05:1 tai 1.50:1 SWR:llä ovat myös merkityksettömiä.

Joitakin yleisiä antennivirittinpiirejä:

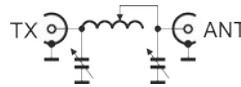
- **L-viritin:** Näissä virittimissä on yksi säätökondensaattori ja yksi säädettävä kela. Kondensaattorin toinen pää on kytketty maahan. Kela on kytketty lähetinliitäntään ja antenniliitäntään väliin. Kondensaattorin sijainti voidaan valita lähetinliitäntään tai antenniliitäntään kulloinkin tarvittavan sovituksen mukaan.



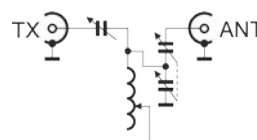
- **T-viritin:** Näissä virittimissä on kaksi säätökondensaattoria ja yksi säädettävä kela. Yksi kondensaattori on sarjassa lähetinliitäntään kanssa ja toinen sarjassa antenniliitäntään kanssa. Kela on kytketty maahan kondensaattorien välistä.



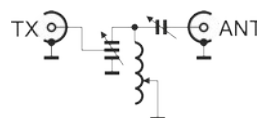
- **Pii-viritin** (kreikankielen "Π" = iso pii): Näissä virittimissä on kaksi säätökondensaattoria ja yksi säädettävä kela. Yksi kondensaattori on kytketty maahan lähettimen liitäntästä ja toinen maahan antenniliitäntästä. Kela on kytketty lähetin- ja antenniliittimien väliin.



- **SPC-viritin** (Series Parallel Capacitor, "kondensaattori sarjassa ja rinnan"): Näissä virittimissä on yksi säätökondensaattori, yksi kaksoissäätökondensaattori ja yksi säädettävä kela. Yksittäinen kondensaattori on kytketty sarjaan lähettimen liitäntästä kaksoiskondensaattorin väliliitäntään. Kaksoiskondensaattori on kytketty antenniliitäntästä maahan. Kela on kytketty kaksoiskondensaattorin väliliitäntästä maahan.



- **Ultimate Transmatch-viritin:** Näissä virittimissä on kaksois-säätökondensaattori ("perhos"-tyyppinen), yksi säätökondensaattori ja yksi säädettävä kela. "Perhos"-kondensaattorin keskinapa on kytketty lähettimen liitäntään. "Perhos"-kondensaattorin yksi pää on kytketty maahan. "Perhos"-kondensaattorin toinen pää on kytketty kelaan ja yksittäisen kondensaattorin yhteen päähän. Kelan toinen pää on kytketty maahan. Yksittäisen kondensaattorin toinen pää on kytketty antenniliitäntään.



Edellä mainituista piireistä on monia muunnelmia ja myös muunlaisia antennivirittimiä on tehty, yleensä johonkin tiettyyn tarkoitukseen.

Jokaisessa antennivirittimessä voidaan käyttää kolmea eri kelavaihtoehtoa:

- Rollerikela, jota voidaan säätää portaattomasti minimistä maksimiin. Automaattisissa antennivirittimissä rollerikela pyöritetään moottorilla.
- Kela väliulosotoilla. Väliotot valitaan moniasentokytkimellä tai releohjauksella. Automaattisissa antennivirittimissä käytetään releohjausta.
- Erilliset sarjaan kytketyt kelat. Kelat valitaan moniasentokytkimellä tai releohjauksella. Automaattisissa antennivirittimissä kelojen induktanssiarvot ovat binäärisarjan mukaisia (1, 2, 4, 8, 16 jne. kertaa minimi-induktanssi). Näin kelojen valintaan tarvitaan vähimmäismäärä ohjauslinjoja (yleensä 8). 8:lla ohjauslinjalla sa-

daan 256 eri induktanssiarvoa pienimmän induktanssin mukaisin portain (esim. 0.05 tai 0.1 μH välein). Kelat kytketään sarjaan tai ohitetaan tarpeen mukaan releohjauksella.

Huomaa kuitenkin, että riippuen roleri- tai väliottokelan rakenteesta ja siitä, miten se on kytketty viritinpiiriin, kelalla voi olla suuri ongelma. Yleensä käämin toinen pää on kytketty viritinpiiriin, roleri tai väliotto on kytketty maahan ja toista kelan päätä ei ole kytketty mihinkään. Joten riippuen vaaditusta sovituksesta ja taajuudesta, kela saattaa toimia korotus-säästömuuntajana suurtaajuusjänniteelle ja kelan avoimessa päässä voi olla erittäin korkea jännite (mahdollisesti useita kilovoltteja). Jännite voi saada aikaan valokaaren maahan tai johonkin muuhun virittimen osaan. Tällaisten virittimien valmistajat käyttävät jonkinlaista kytkentää estääkseen muuntajatoiminnon. Esimerkiksi MFJ kutsuu tuota piiriä "oman resonanssin tappajaksi", mutta jännitteen muuntotapahtumalla ei ole mitään tekemistä "oman resonanssin" kanssa. Huomaa myös, että erillisistä keloista tehdyissä virittimissä ei ole tätä ongelmaa, koska kaikki käyttämättömät kelat ovat oikosulussa ja itse kelat on asennettu siten, että ne eivät vaikuta toisiinsa, esim. 90° kulmaan toisiinsa nähden.

Jokaisessa antennivirittimessä voidaan käyttää kahta eri kondensaattorivaihtoehtoa:

- Käsi käyttöisissä antennivirittimissä käytetään säätökondensaattoreita (ilma- tai tyhjiö). Automaattisissa antennivirittimissä näitä kondensaattoreita pyöritetään moottoreilla.
- Sarja erillisiä suurjännitekondensaattoreita. Kondensaattorit valitaan moniasentokytkimellä tai releohjauksella. Automaattisissa antennivirittimissä käytetään releohjausta.
- Automaattisissa antennivirittimissä yleisin kytkentä on L-viritin. Kapasitanssiarvot ovat binäärisarjan mukaisia (1, 2, 4, 8, 16 jne. kertaa minimiarvo). Näin kapasitanssin valintaan tarvitaan vähimmäismäärä ohjauslinjoja (yleensä 8). 8:lla ohjauslinjalla saadaan 256 eri kapasitanssiarvoa pienimmän kapasitanssin mukaisin portain (esim. 5 tai 10 pF välein). Kondensaattorit kytketään rinnan maahan tarpeen mukaan releohjauksella.

Monissa antennivirittimissä on useita mahdollisuuksia antennipuolen liitäntään:

- 50 Ω koaksiaalikaapeli.
- 200 Ω liitäntä 4:1 balunin kautta symmetrisille syöttölinjoille (parilinja, avolinja).
- Liitäntä päästä syötetylle antennilangalle ja siihen liittyvä maadoitus, usein 4:1 balunin kautta.

G.1 Antennivirittimen sovitusalue

HF-antenniviritintä valittaessa on ensimmäiseksi otettava huomioon sen tehonkesto ja SWR-sovitusalue. Maksimiteho (SSB-piikki = PEP) on yleensä määriteltä, samoin SWR-sovitusalue. Varmista kuitenkin, että ymmärrät:

- Mitä valmistaja oikeastaan tarkoittaa "tehonkestolla"? Yleensä vain piikkiteho on määriteltä, mutta jos käytät digitaali modeja (kuten RTTY) tai FM:ää, muista valita vähintään kolme kertaa (3 x) maksimilähetystehoasi vastaava viritin, muuten viritin vioittuu jatkuvan kanta-aaltolähteyksen aikana (kuten RTTY tai FM).
- Useimmiten SWR:n maksimisovitusalue on määriteltä vain yleisenä arvona (esim. 3.0:1) speksatulla maksimiteholla kaikille taajuuksille, mutta se ei kerro koko totuutta. Jokaisella antennivirittimellä on vaikeuksia eräiden ongelmien kanssa:
 - **Kapasitanssin minimiarvo** on tärkeä erityisesti 10 m ja 12 m bandeilla. **Minimikapasitanssi ei voi koskaan olla "0"** merkittävien hajakapasitanssien ja säätökondensaattorien tapauksessa niiden minimikapasitanssin takia.
 - **Kapasitanssin maksimiarvo** on tärkeä erityisesti 80 m ja 160 m bandeilla. Maksimikapasitanssia rajoittaa aina virittimen oma maksimikapasitanssi. Säätökondensaattorien tapauksessa niiden maksimikapasitanssi.
 - **Induktanssin minimiarvo** on tärkeä erityisesti 10 m ja 12 m bandeilla. **Minimi-induktanssi ei voi koskaan olla "0"** merkittävien hajainduktanssien ja rollerikelan tapauksessa sen minimi-induktanssin takia.
 - **Induktanssin maksimiarvo** on tärkeä erityisesti 80 m ja 160 m bandeilla. Maksimi-induktanssia rajoittaa aina virittimen oma maksimi-induktanssi. Rollerikelan tapauksessa sen maksimi-induktanssi.

Yllä olevasta seuraa, että minkä tahansa virittimen SWR-sovitusalue erityisesti 160 m, 80 m, 12 m ja 10 m bandeilla voi rajoittua jopa alle määritellyn lukeman (esim. 3.0:1). Toinen suuri ongelma on sovittaa minkä tahansa bandin erittäin alhainen impedanssi 50 Ω :iin, koska minimi-induktanssi on liian korkea ja maksimikapasitanssi liian pieni. Yleisesti ottaen suurempien impedanssien (esim. 3 k Ω :iin saakka) sovittaminen 50 Ω :iin ei ole ongelmallista "välibandeilla" (eli 80 m - 15 m), koska riittävä induktanssi ja tarpeeksi pieni kapasitanssi ovat aina saatavilla.

G.2 Antenniviritintyytit

Antenniviritin voi tietysti olla joko käsikäyttöinen tai automaattinen. Käsiviritys vie yleensä enemmän aikaa kuin automaattiviritys, mutta se riippuu monista tekijöistä.

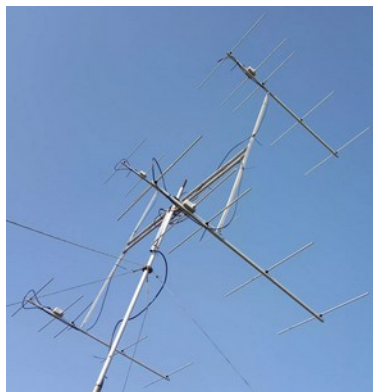
Transceiverin sisäinen antenniviritin on aina automaattinen ja "paikallinen". Ulkoiset antenniviritimet voivat olla joko käsikäyttöisiä tai automaattisia. Käsiviritin on aina "paikallinen". Automaattiviritin voi olla joko "paikallinen" tai "kauko-ohjattu".

- "Paikallinen" antenniviritin asennetaan yleensä käyttöpaikkaan lähettimen lähelle. Tässä tapauksessa koko antennijärjestelmä sovitetaan virittimellä 50 Ω :iin lähettimelle. **Antennijärjestelmä** käsittää kaiken virittimen antenniliitännästä itse antenniin. Virittimen ja antennin välisessä syöttöjohdossa voi olla melko korkea SWR, johon liittyy ylimääräisiä häviöitä (katso "F. SWR ja lähetysteho" yllä). Tämä riippuu siitä, kuinka hyvin tai huonosti itse antenni on sovitettu syöttökaapeliin toimintataajuudella.
- "Kauko-ohjattu" antenniviritin on aina automaattinen ja se asennetaan yleensä mahdollisimman lähelle antennia (mastoan tms.) minimoimaan syöttölinjan korkean SWR:n aiheuttamat häviöt. Tässä tapauksessa **antennijärjestelmä** sovitetaan virittimellä 50 Ω :iin lähettimelle menevää syöttölinjaa varten. Se kytkeytyy käyttöpaikalla olevaan SWR- jne. näyttöön joko syöttöjohdon tai erillisen kaapelin kautta. Kummassakin tapauksessa kaapelissa on sekä datayhteys että virransyöttö kauko-ohjatulle antenniviritinille. Kauko-ohjatut antenniviritimet ovat kalliimpia kuin käsikäyttöiset ("paikalliset") varsinkin suurille tehoille, mutta jos vain mahdollista, ne ovat paljon parempi ratkaisu jokaiseen antennijärjestelmään, koska silloin pitkässä syöttöjohdossa lähettimestä virittimeen ei synny ylimääräisiä häviöitä.

H. Antennien kerrostaminen

Antennijärjestelmän vahvistusta on usein helpompi korottaa asentamalla useampi kuin yksi antenni isomman (= pitempiuomisen) sijaan, erityisesti HF-alueilla. Kaikkien moniantennijärjestelmän antennien on oltava samanlaisia ja tietyn etäisyyden päässä toisistaan joko pysty- ja/tai vaakasuunnassa. Tätä kutsutaan "kerrostamiseksi". Joka kerta kun antennien määrä kaksinkertaistetaan, saadaan noin +3 dB lisää tehovahvistusta. Pystysuuntainen kerrostaminen kaventaa antenniryhmän säteilykeilan pystysuuntaista leveyttä ja vaakasuuntainen kerrostaminen säteilykeilan vaakasuuntaista leveyttä.

HF-bandeilla antennia kerrostetaan yleensä vain pystysuuntaan, koska vaakasuuntainen kerrostaminen on mekaanisesti lähes mahdotonta. Parhaan tuloksen saavuttamiseksi tarvitaan kuitenkin paljon korkeampi masto kuin yksittäiselle antennille ja maston täytyy kääntyä. Suunnilleen maksimivahvistuksen aikaansaamiseksi alemman antennin tulee olla vähintään 1/2 aallon korkeudella maasta ja ylemmän antennin kerrostamisetäisyyden verran alemman antennin yläpuolella.



VHF- ja UHF-bandeilla käytetään sekä pysty- että vaakakerrostusta, koska antennit ovat paljon pienempiä eikä vaakakerrostaminenkaan aiheuta sen kummempia mekaanisia ongelmia. Useimmiten VHF- tai UHF-antenniryhmät on helppo rakentaa siten, että ne voidaan asentaa suoraan itse antenninkääntäjään, joten kääntävää mastoa ei tarvita.

Kaikki ryhmän antennit on syötettävä samanvaiheisesti ja yhdistelmä on sovitettava (yleensä) 50 Ω syöttölinjaan. Joitakin sovitusratkaisuja löytyy kohdasta "E.2 Impedanssin sovitus kaapeleita käyttäen" yllä. On monia muitakin tapoja saavuttaa sama tulos.

Monet vanhemmat radioamatöörikirjat suosittelevat kiinteitä kerrostusetäisyyksiä, kuten "puolen aallon pituus", "5/8-aallonpituus", "puolet puomin pituudesta" jne. Jotkut näistä "säännöistä" ovat vain arvailua. Ne eivät sovellu nykyaikaisille antennirakenteille.

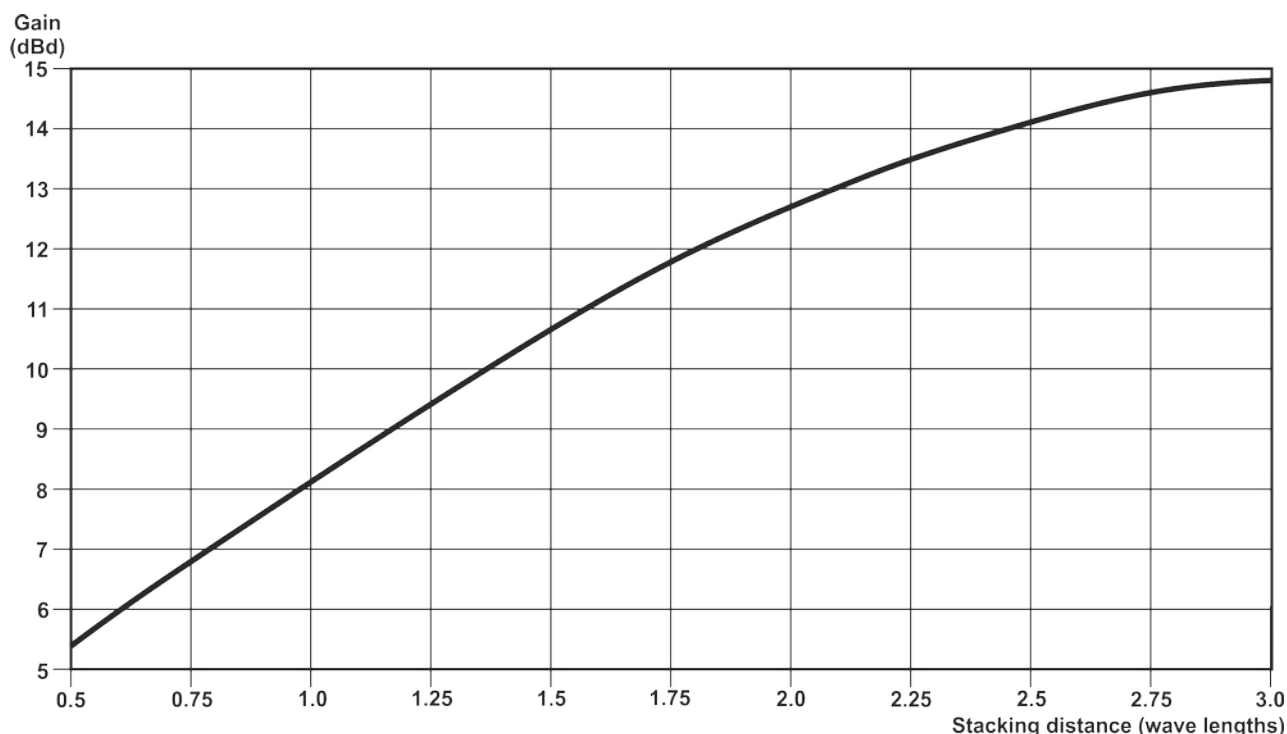
Aluksi joitakin antennien kerrostamisen perusteita:

1. Optimaaliset vaaka- ja pystysuuntaiset kerrostusetäisyydet suurimman mahdollisen vahvistuksen aikaansaamiseksi **riippuvat paljon yksittäisten antennien vahvistuksesta** (eli niiden vaaka- ja pystysuuntaisista keilan leveyksistä). "Matalavahvistuksisten" HF-antennien kerrostusetäisyydet ovat vapaan tilan aallonpituuksilla mitattuna pienempiä ja "suurivahvistuksisilla" VHF- ja UHF-antenneilla suurempia.
2. Kerrostusetäisyydet **mitataan** aina vapaan tilan aallonpituuksina (tai niiden osina) **kunkin antennin keskeltä**, joka jagien tapauksessa on antennipuomi. Quadeille ja muille "3-ulotteisille" antenneille se on kunkin antennin mekaaninen keskipiste.

Ei ole helppoa tapaa laskea antennien optimaalista kerrostusetäisyyttä, ellei tiedetä yksittäisen antennin todellisia vaaka- ja pystysuuntaista -3 dB keilanleveyksiä. Siinä tapauksessa kaava on: **$D = 57 / BW$** , jossa:

- D = Optimikerrostusetäisyys, pysty- **tai** vaakasuuntainen, **aallonpituuksina**.
- "57" = Vakio kerrostusetäisyyden laskemiseksi
- BW = Antennin -3dB keilan leveys, pysty- **tai** vaakasuuntainen, **asteina**.
- Huomaa, että monilla suunta-antenneilla on **eri keilan leveys vaaka- ja pystytasossa**, joten kerrostamisetäisyys on myös erilainen vaaka- ja pystysuuntaan.

Muussa tapauksessa voidaan käyttää alla olevaa käyrää kerrostusetäisyyden arviointiin antenniryhmän maksimivahvistusta varten. Se perustuu **yksittäisen antennin vahvistukseen yli dipolin (dBd)**. Käyrä ei ole aina aivan tarkka, koska antennin vahvistus riippuu myös säteilykuvion sivukeiloista vaaka- ja pystytasossa, mutta sen avulla pitäisi päästä tarpeeksi lähelle kaikkia käytännön antenniasennuksia varten. Käyrä on kopioitu DK7ZB:n sivulta <https://www.qsl.net/dk7zb/Stacking/stacking.htm>.



Vielä on **tehtävä yksi säätö** lopullisten kerrostusetäisyyden saamiseksi. Yllä oleva kaava ja käyrä antavat suurimman saatavilla olevan vahvistuksen antenniryhmälle. Mutta tällä kerrostuksella antenniryhmän sivukeilojen tasot kasvavat paljon, mikä ei useinkaan ole hyvä asia. Sivukeilat ovat suurtaajuussäteilyä ei-toivottuihin suuntiin pääkeilan (= tarkoitettu säteily) eri puolille. Erityisesti vastaanoton aikana sivukeilat voivat kerätä kaikenlaisia häiriöitä. Jos kerrostusetäisyyttä hieman pienennetään, menetetään hyvin vähän antenniryhmän

vahvistuksesta, mutta sivukeilojen tasot pienenevät paljon. Joten **kerro yllä olevasta kaavasta tai käyrästä saadut kerrostusetäisyydet** (aallonpituuksissa) esimerkiksi:

- 0.95:llä: Vahvistuksen alennus -0.1 dB, sivukeilojen vaimennus -13 dB.
- 0.9:llä: Vahvistuksen alennus -0.2 dB, sivukeilojen vaimennus -16 dB. *Tämä on paras kompromissi!*
- 0.85:llä: Vahvistuksen alennus -0.4 dB, sivukeilojen vaimennus -22 dB.

Joten esimerkiksi 8.1 dBd antennien kerrostusetäisyys on käyrän mukaan 1.0 aallonpituus. Kerro se 0.9:llä ja **lopullinen kerrostusetäisyys on 0.9 aallonpituutta**.

H.1 Monialueantennien kerrostaminen

On jonkin verran ongelmallista kerrostaa monen bandin antennejä, kuten HF trappijagit tai monialueiset quadit. Periaatteessa optimaalinen kerrostusetäisyys on mahdollista saada vain yhdelle bandille ja kaikki muut alueet ovat pahasti pielessä, mikä tarkoittaa yleensä pienempää antenniryhmän vahvistusta ja korkeampia sivukeilojen tasoja näillä bandeilla. Mutta jos näin on tehtävä, niin hae optimaalinen kerrostusetäisyys yhdelle bandille (suosikillesi) ja tyydy sitten kaikkien muiden alueiden pienempään vahvistukseen ja suurempiin sivukeiloihin.

H.2 Eri alueiden suunta-antennien kerrostaminen, kuten HF, VHF ja UHF

Yleensä korkeamman taajuuden antenni (esim. VHF) asennetaan matalamman taajuuden antennin (esim. HF) yläpuolelle, jotta antennin kääntäjän, maston jne. mekaaniset rasitukset pysyisivät mahdollisimman pieninä.



- Paras ratkaisu olisi selvittää kerrostusetäisyys (katso "H. Antennien kerrostaminen" yllä) alemman taajuuden antennille (tässä esimerkissä HF) ja asentaa korkeampitaajuinen antenni (VHF tässä esimerkissä), alempitajuuden antennin kerrostusetäisyyden verran sen yläpuolelle. Tämä tarkoittaisi kuitenkin sitä, että alemman taajuuden antennin yläpuolella olevan kääntyvän maston täytyy olla hyvin korkea, mikä voisi aiheuttaa mekaanisia ongelmia.

Tämä ei ole suuri ongelma VHF- ja UHF-antennien kerrostamisessa, koska mekaaninen etäisyys ei ole kovin suuri.

- Kerrostusetäisyyden lyhentäminen on kuitenkin mahdollista: Selvitetään kerrostusetäisyys (katso "H. Antennien kerrostaminen" yllä) korkeampitaajuiselle antennille (tässä esimerkissä VHF) ja asennetaan se tuon kerrostusetäisyyden verran matalampitaajuisen antennin (tässä esimerkissä HF) yläpuolelle. Näin voidaan tehdä, koska:

- Alemman taajuuden antenni (tässä esimerkissä HF) ei ole millään lailla resonanssissa VHF-taajuuksilla, eikä se vaikuta VHF-taajuuksien toimintaan, kun se on asennettuna VHF-antennin kerrostusetäisyyden päähän.
- Korkeamman taajuuden antenni (tässä esimerkissä VHF) ei ole millään lailla resonanssissa HF-taajuuksilla, eikä se vaikuta HF-taajuuksien toimintaan, kun se on asennettu VHF-antennin kerrostusetäisyyden päähän.

- "Kapealla" antennien kerrostamisella on yksi haittapuoli: noita kahta antennia ei ehkä voi käyttää samanaikaisesti niin, että toinen lähettää ja toinen vastaanottaa. Vastaanottavan antennin keräämä lähetetty signaali voi olla niin korkea, että vastaanottimen antennitulo ylikuormittuu ja vastaanotin on "kuollut" tai tuottaa outoja ääniä lähetyksen aikana. Tämä riippuu paljon vastaanottimen etupään suurtaajuussuodatuksen laadusta. On kuitenkin erittäin epätodennäköistä, että mitään varsinaisesti vahingoituksi vastaanottimessa.

Jos on tarpeen toisen radion käyttämiseksi lähettämiseen ja toisen vastaanottoon samanaikaisesti, voidaan kahden **transceiverin** antenniliitäntöihin asentaa ulkoiset L/C-suotimet:

- Noin 40 MHz alipäästösuodin HF radioon. Tämän suotimen on kestävä koko transceiverin (**ei** lineaarivahvistimen!) lähtöteho kaikilla HF-bandeilla.
- Noin 120 MHz ylipäästösuodin VHF (145 MHz) radioon. Tämän suotimen on kestävä koko transceiverin (**ei** lineaarivahvistimen!) lähtöteho VHF-bandilla.

Molempia antennejä voidaan tietenkin aina käyttää samanaikaisesti samaan tarkoitukseen (eli joko vastaanottamiseen tai lähettämiseen).

I. Radioamatööriaseman sähköturvallisuus

Tämä osa liittyy pääasiassa turvallisen hamssiaseman aikaansaamiseen ja antennijärjestelmään on tietenkin osa sähköturvallisuutta. Jokainen hamssiasema tulee suojata sähköisiltä vahingoilta ja ylijännitteiltä. Aseman turvallisuuden takaamisessa on kaksi osaa:

- Suojaaminen vaarallisilta jännitteiltä.
- Suojaaminen salamaniskuilta.

I.1 Suojaaminen vaarallisilta jännitteiltä

Jännitesuojaus koskee pääasiassa radion käyttäjää itseään ja kaikkia asemalla vierailevia, mukaanlukien oman perheen jäsenet. Ajatuksena on, että kukaan ei saa päästä koskemaan vaarallisia jännitteitä sisältäviin osiin (mukaan lukien 230 V verkkojännite).

I.1.a Mekaaninen suojaus

Kaikkien hamssiaseman laitteiden on oltava koteloituja! Ei ole väliä, ovatko laitteet tehdasvalmisteisia vai kotitekoisia. Kotelot ovat useimmiten metallista, mutta ne voivat olla myös muovia. Koteloissa **ei saa olla liian suuria reikiä** esim. tuuletusta varten. Muista, että pieni lapsi voi työntää sormensa jopa 5 mm reiästä.

Mekaanisen suojauksen tulee tietysti toimia korkeilla vaihto- ja tasajännitteillä, mutta myös suurilla suurtaajuusjännitteillä. **Suurtaajuus voi aiheuttaa vakavia palovammoja!** Esimerkiksi 1500 W linukan lähdön suurtaajuusjännite 50 Ω kuormaan (SWR 1.0:1) on noin 275 V_{RMS}, 388 V piikki tai 775 V piikistä piikkiin. 100 ohmin kuormaan (SWR 2.0:1) suurtaajuusjännite olisi noin 387 V_{RMS}, 546 V piikki tai 1091 V piikistä piikkiin.

I.1.b Suojamaadoitus

Kaikkien hamssiaseman laitteiden, joissa on liitäntä verkkojännitteelle, **ON OLTAVA suojamaadoitettuja!** Sillä ei ole väliä, onko laite tehdasvalmisteinen vai kotitekoisen. Laitteen sisällä suojamaadoitus **ON AINA kytkettävä metallikoteloon tai -runkoon!** Useimmiten suojamaadoitus sähköverkkoon tehdään verkkojohdon kautta, joka **ON AINA liitettävä suojamaadoitettuun pistorasiaan!**

Suurtaajuusmielessä sähköverkon suojamaadoituksessa on kuitenkin suuri ongelma: Koska useimpien radioamatöörlaitteiden suurtaajuusmaana on metallikotelo tai -runko, joka on aina liitettävä suojamaadoitukseen, sähköverkon suojamaan johdotuksesta ja kaapeloinnista **tulee osa antennijärjestelmää**, mikä ei ole ollenkaan hyvä juttu. Tämä voi johtaa siihen, että lähettimen suurtaajuussignaali leviää kaikkialle aiheuttaen häiriöitä muille laitteille. Se voi myös aiheuttaa antennin sovitusongelmia tahattoman johdotuksen vuoksi. Minä käytän aina ferriittitoroidille käämittyä suurtaajuuskuristinta asemani yhdistetyn verkkojohdon suojamaadoituslangassa (kelta-vihreä), mikä erottaa aseman suurtaajuusmaan sähköverkon suojamaasta. 97 μ H kuristimen reaktanssi on 1097 Ω 1.8 MHz:llä ja 18294 Ω 30 MHz:llä. Kuristin ei kuitenkaan heikennä sähköturvallisuutta, sillä sen yhdistetty resistanssi ja reaktanssi 50 Hz verkkotaajuudella on erittäin alhainen (noin 0.04 Ω).

Huomaa, että useimmissa hamssiaseman 13.8 VDC virtalähteissä tasajännitepuolen negatiivinen (-) napa kytkeytyy transceiverin runkoon. Jos mitataan vastus virtalähteen negatiivisen navan ja metallikotelon väliltä, useimmiten yhteyttä niiden väliltä ei löydy. MUTTA: Virtalähteen sisällä voi olla melko iso keraaminen kondensaattori negatiivisesta lähtöliitännästä virtalähteen koteloon, mikä on suora suurtaajuusreitti transceiverin antennilähdön vaipasta (= laitteen runko) sähköverkon suojamaahan.

Kaikissa hamssiaseman laitteissa, joissa on verkkojänniteliitäntä, olivatpa ne tehdasvalmisteisia tai kotitekoisia, **tulisi olla verkkojännitesulakkeet MOLEMMISSA LANGOISSA (vaihe ja nolla)!** Valitettavasti useimmissa tehdasvalmisteisissa laitteissa on vain yksi verkkosulake. Se ei ole ongelma monissa maissa (mm. Englanti ja Yhdysvallat), joissa verkkopistoke voidaan työntää vain yksin päin pistorasiaan ja sulake on aina vaihejohtimessa. Tämä on kuitenkin ongelma suurimmassa osassa Eurooppaa, koska pistorasia (useimmiten shuko-tyyppiä) on symmetrinen ja pistoke voidaan työntää siihen kummin päin hyvänsä. Niinpä ei ole

mahdollista tietää etukäteen, kumpi johdin sattuu olemaan vaihe tai nolla laitteen sisällä ja kumpikin voi aiheuttaa oikosulun laitteen runkoon. Yhden sulakkeen täytyy aina palaa kummassakin tapauksessa.

1.2 Ukkossuojaus

Koska useimmat hamssiantennit on asennettu ulos ja melko korkealle, ne voivat olla herkkiä salamaniskuille. **Ymmärrä kuitenkin, että mikään ei suojaa suoralta salamaniskulta!** Äärimmäisen korkean jännitteen ja virran takia **kaikki salamaniskun reitillä oleva TUHOUTUU AINA TÄYSIN!** Se käsittää itse antennin, maston, syöttökaapelin, kaikki hamssiaseman varusteet ja mahdollisesti jopa koko talosi. Huomaa myös, että suora salamanisku voi loikata ilmassa useita metrejä ja jatkaa tuhoaan seuraavassa kohteessa. Vaikka talossa olisi ukkosenjohdatinkin, ei ole minkäänlaisia takeita siitä, että salama "haluaa" iskeä juuri siihen.

Onneksi on melko harvinaista, että salama iskee suoraan radioamatööriantenniin. Erittäin korkeat yleisradio-mastot (AM, TV, ULA) ovat täysin eri juttu. Tarvitset kuitenkin suojauksen lähellä tapahtuville salamaniskuille. Jopa usean sadan metrin päähän osuva isku voi aiheuttaa vaurioita hamssiasemalla, koska antenniin indusoituu erittäin korkea jännite.

Ensimmäisenä suojauksena antennin metallimasto tulee maadoittaa todelliseen maahan. Hyvä maadoitus voi joskus olla varsin vaikeaa johtuen maan tyypistä eli sen johtavuudesta. Huomaa, että maadoituksen ei tarvitse olla hyvä suurtaajuusmielessä, mutta sen tulisi olla kelvollinen vaihto- ja tasavirralla. Periaatteessa "maaliitännän" pitäisi olla vain parin ohmin luokkaa, mutta miten sen voisi mitata? Maan johtavuus vaihtelee myös paljon sen kosteudesta riippuen. Kuiva maa voi olla melkein eriste, mutta märkänä, kuten ukkosmyrskyn aikana, sillä voi olla melko alhainen resistanssi. Kivi on periaatteessa aina eriste.

Seuraavana suojauskeinona voisi olla ylijännitesuoja antennin koaksiaalikaapelissa, mutta **pystyykö se todella suojaamaan asemasi?** Hamssikäyttöön ylijännitesuojissa on UHF-liittimet tuloa ja lähtöä varten sekä kaasutäytteen "kapseli" ylijännitesuojana. Ylijännitesuojille on yleensä määriteltä maksimiteho, **mutta vain 50 ohmiin**. Jos koaksiaalikaapelissa on korkea impedanssi (esimerkiksi SWR on yli 1.5:1), on laskettava kaasukapselin maksimijännite määrittelystä tehosta ja impedanssista ($= 50 \Omega$): **$U_p = 1.41 \times \sqrt{P \times Z}$** . Esimerkiksi 2000 W ylijännitesuojassa huippujännite 50 Ω kaapeliin on 445 V. Sinun on varmistettava, että suurtaajuussignaali **huippujännite** (ei tehollisarvo tai huipusta huippuun) ei koskaan ylitä tätä arvoa. Esimerkiksi: 100 Ω kuormaan (SWR = 2.0:1) 2000 W:n ylijännitesuojan suurin sallittu teho on vain 996 W: **$U = U_p / 1.41$ ja $P = U^2 / Z$** . Muutoin myös suurtaajuussignaali "liipaisee" kaasukapselin, mikä aiheuttaa splatteria ja mahdollisia vaurioita lähettimeen. Johtavana kaasukapseli on käytännössä oikosulku. **Ylijännitesuoja on aina maadoitettava suoraan asemasi yhteiseen suurtaajuusmaahan.** Huomaa kuitenkin myös, että **ylijännitesuoja ei välttämättä pysty suojaamaan vastaanottimen etupäätä lähellä sattuvilta salamaniskulta**. Yleensä kaasukapselin liipaisujännite on liian korkea (useita satoja voltteja), eikä minkään vastaanottimen etupää kestä sellaisia piikkijännitteitä.

Viimeisenä suojauskeinona olisi irroittaa antennikaapelit ukkosmyrskyn lähestyessä. Sijoita irroitettavat kaapeliliittimet kuitenkin sellaiseen paikkaan, jossa ylijännitepiikit (eli liittimistä lähtevä kipinäointi) eivät voi aiheuttaa ongelmia. Kun olin vielä koulussa, minulla oli dipolintapainen (noin 40 m pitkä) lyhytaaltojen AM kuuntelua varten. Syötin sitä 300 Ω parikaapelilla. Kun kaapeli oli irroitettu vastaanottimesta, kipinät parikaapelin johtojen päiden välillä olivat noin 100 - 150 mm pitkiä, vaikka ukkosmyrsky ei ollut suoraan kohdalla.

Nykyään käytän tehoreleellä toteutettua "automaattista" ukkossuojaa. Rele saa virtansa suoraan transceiverin 13.8 VDC virtalähteestä. Niinpä, kun virtalähde on sammutettuna, rele irroittaa antennin transceiveristä ja sen lepokärki oikosulkee koaksiaalikaapelin keskijohtimen aseman yhteiseen suurtaajuusmaahan. Kaapelin vaippahan on tietenkin aina kytkettynä suurtaajuusmaahan. Kun virtalähde käynnistetään, rele aktivoituu ja transceiver on kytkettynä syöttökaapeliin releen työkärjen kautta. Jos olet bandeilla, lähestyvän ukkosen kylä kuuluu räsähdyksinä vastaanottimen äänessä monien kilometrien päästä. Kun taivaalla alkaa näkyä salamointia, on aika sammuttaa asema. Workkiminen olisi joka tapauksessa vaikeaa erittäiden voimakkaiden häiriöiden takia.

J. Lyhenteet

Radiotekniikassa ja laajemmin elektroniikassa käytetään paljon lyhenteitä. Alkuaikoina kaikki käyttivät omia lyhenteitään, joten tiedonvaihdon helpottamiseksi ne on jo vuosikymmeniä sitten standardoitu kansainvälisesti. Niitä käytetään erilaisissa laskentakaavoissa ja eri arvojen symboleina. Alla on esimerkkejä yleisimmistä:

J.1 Kaavojen symbolit

- U (joissakin maissa V) = Sähkön jännite
- I = Sähkön virta
- R = Sähköinen resistanssi (vastus)
- P = Sähkäteho
- Z = Sähköinen impedanssi (vaihtovirta-"vastus"). Älä sekoita tätä resistanssiin (R). Ne eivät ole sama asia.
- λ (pieni kreikkalainen kirjain lambda) = Aallonpituus
- +j = Induktiivinen reaktanssi (kelan vaihtovirtavastus)
- -j = Kapasitiivinen reaktanssi (kondensaattorin vaihtovirtavastus)
- ° = Vaihekulma asteina. Siniaallon vaihe tietyllä ajanhetkellä. Asteita käytetään myös esimerkiksi kahden vaihtovirtasignaalin vaihe-eron ilmaisemiseen.
- rad = Vaihekulma radiaaneina. 1 rad = 57.2958 astetta

J.2 Kertoimet

Kertoimia käytetään kaikenlaisille arvoille lyhentämään tarvittavan tekstin pituutta.

- p = "piko" = 1/1'000'000'000'000 = 1 tuhatmiljaridis osa
- n = "nano" = 1/1'000'000'000 = 1 miljardis osa
- μ = (pieni kreikkalainen kirjain my) "mikro" = 1/1'000'000 = 1 miljoonas osa
- m = "milli" = 1/1000 = 1 tuhannes osa. **ÄLÄ sekoita tätä "m":ään ("mega")!**
- " " (ei kerrointa) = 1 kerran
- k = "kilo" = 1000 kertaa
- M = "mega" = 1'000'000 kertaa = 1 miljoona kertaa. **ÄLÄ sekoita tätä "m":ään ("milli")!**
- G = "giga" = 1'000'000'000 kertaa = 1 miljardi kertaa
- T = "tera" = 1'000'000'000'000 kertaa = 1000 miljardia kertaa

Esimerkiksi:

- "120 pF" = 0.000'000'000'12 F (faradia)
- "560 Ω " = 560 Ω (ohmia)
- "14.25 MHz" = 14'250'000 Hz (hertziä)

Näyttää siltä, että imperiaalista mittausjärjestelmää käyttävissä maissa (varsinkin Yhdysvallat) ihmiset eivät vieläkaan (vuonna 2024) osaa käyttää kertoimia oikein, mikä johtaa sekaannuksiin ja järjettömiin arvoihin.

Huom! Luettelon kertoimet ovat yleisimpiä elektroniikassa ja radiotekniikassa! On myös olemassa monia "välikertoimia", joita ei ole mainittu em. luettelossa.
Kts. esim. https://en.wikipedia.org/wiki/Metric_prefix

J.3 Kaavojen symbolit

Edellä lueteltuja kertoimia käytetään kaikille arvoille.

J.3.a Mekaaniset mitat

- mm = millimetri = 1/1000 metriä (= 0.03937 tuumaa). Yleensä millimetrejä (mm) käytetään kaikkiin mekaanisiin piirustuksiin.
- cm = senttimetri = 1/100 metriä (= 0.3937 tuumaa).
- dm = desimetri = 1/10 metriä (= 3.937 tuumaa).
- m = metri (= 39.37 tuumaa = 3.28084 jalkaa).
- km = kilometri = 1000 metriä = 0.621371 mailia.

- " (tai in) = tuuma (25.4 mm).
- mil = 1/1000 tuumaa (0.0254 mm).
- ft = jalka (304.8 mm).
- yd = jaardi (0.9144 m).
- mi = maili (1609.34 m = 1.60934 km).
- ° = kulma asteina. Suorakulma on 90°.
- ² (yläindeksi "2") = neliö (pinta-ala). Esim. 100 mm² = 100 neliömillimetrin alue.
- ³ (yläindeksi "3") = kuutio (tilavuus). Esim. 100 cm³ = 100 kuutiosenttimetrin tilavuus.

Maissa, joissa käytetään imperiaalista mittausjärjestelmää (varsinkin Yhdysvallat), muunnokset eri mekaanisten mittojen välillä ovat mutkikkaita. Olen useaan otteeseen huomannut, että esimerkiksi imperiaaliseen järjestelmään perustuvat tietokoneohjelmat eivät pysty muuntamaan mittoja oikein metrijärjestelmästä ja metrijärjestelmään. Joten esimerkiksi lähetettäessä mekaanista dokumentaatiota sähköpostitse Euroopasta (metrijärjestelmä) Yhdysvaltoihin (imperiaalinen järjestelmä), vastaanottajan tietokoneohjelmisto voi tuottaa todella outoja tuloksia.

J.3.b Sähköiset mitta-arvot

- V = Voltti (jännitteelle)
- A = Ampeeri (virralle)
- W = Watti (teholle)
- Ω (kreikkalainen iso "omega"-kirjain) = Ohmi (vastukselle, impedanssille tai reaktanssille)
- F = Faradi (kapasitanssille)
- H = Henri (induktanssille)
- Hz = Hertsi (taajuudelle)
- DC = Tasavirta
- AC = Vaihtovirta
- VDC = Tasajännite
- VAC = Vaihtojännite

J.4 ITU Taajuusalueet

Sopimuksen mukaisesti ITU (YK:n kansainvälinen televiestintäliitto) jakaa radiospektrin 12 taajuuskaistaan, joista jokainen kattaa kymmenkertaiset taajuudet. Kullakin näistä bandeista on oma nimi. Erityisesti nimien lyhenteitä (kuten "HF", "VHF", "UHF" jne.) käytetään yleisesti kaikenlaisissa radiotaajuuksia käsittelevissä teksteissä:

- ELF (Extremely Low Frequency, äärimmäisen matala taajuus) = 3 ... 30 Hz
 - Ei radioamatöörialueita
- SLF (Super Low Frequency, supermatala taajuus) = 30 ... 300 Hz
 - Ei radioamatöörialueita
- ULF (Ultra Low Frequency, erittäin matala taajuus) = 300 Hz ... 3 kHz
 - Ei radioamatöörialueita
- VLF (Very Low Frequency, hyvin matala taajuus) = 3 ... 30 kHz
 - Ei radioamatöörialueita
- LF (Low Frequency, matala taajuus, "pitkät aallot") = 30 ... 300 kHz
 - Radioamatöörit: 2200 m, 135.7 ... 137.8 kHz
- MF (Medium Frequency, keskimääräinen taajuus, "keskipitkät aallot") = 300 kHz ... 3 MHz
 - Radioamatöörit: 630 m (472 ... 479 kHz), 160 m (1.81 ... 2.00 MHz)
- HF (High Frequency, korkea taajuus, "lyhyet aallot") = 3 ... 30 MHz
 - Radioamatöörit: 80 m (3.5 ... 3.8 MHz), 60 m (5.3515 ... 5.3665 MHz), 40 m (7.0 ... 7.2 MHz), 30 m (10.10 ... 10.15 MHz), 20 m (14.00 ... 14.35 MHz), 17 m (18.068 ... 18.168 MHz), 15 m (21.00 ... 21.45 MHz), 12 m (24.89 ... 24.99 MHz), 10 m (28.0 ... 29.7 MHz)
- VHF (Very High Frequency, hyvin korkea taajuus) = 30 ... 300 MHz
 - Radioamatöörit: 6 m (50 ... 52 MHz, Eurooppa), 4 m (70.0 ... 70.5 MHz, Eurooppa), 2 m (144 ... 146 MHz, Eurooppa)
- UHF (Ultra High Frequency, erittäin korkea taajuus) = 300 MHz ... 3 GHz
 - Radioamatöörit: 70 cm (430 ... 440 MHz, Eurooppa), 23 cm (1.24 ... 1.30 GHz, Eurooppa), 13 cm (2.30 ... 2.45 GHz)

- SHF (Super High Frequency, superkorkea taajuus) = 3 ... 30 GHz
 - Radioamatöörit: 9 cm (3.400 ... 3.475 GHz), 6 cm (5.65 ... 5.85 GHz), 3 cm (10.0 ... 10.5 GHz), 12 mm (24.00 ... 24.25 GHz)
- EHF (Extremely High Frequency, äärimmäisen korkea taajuus) = 30 ... 300 GHz
 - Radioamatöörit: 4 mm (75.5 ... 81.5 GHz), 2 mm (122.25 ... 123.00 GHz), 134.0 ... 141.0 GHz, 241.0 ... 250.0 GHz
- THF (Tremendously High Frequency, valtavan korkea taajuus, "Terahertz") = 300 GHz ... 3 THz
 - Ei radioamatöörialueita

Yllä lueteltujen taajuusalueiden radioetenemisominaisuudet ("DX") eroavat merkittävästi toisistaan. Se oli alkuperäinen syy aluejakoon. Kaistojen taajuusrajat ovat muuttuneet monia kertoja, kunnes yllä oleva jako hyväksyttiin kansainvälisessä radiokonferenssissa, joka pidettiin Atlantic Cityssä, NJ, USA vuonna 1947. Esimerkiksi, kuten yllä olevasta listasta näet, 6 metrin bandi (50 ... 52 MHz) on itse asiassa VHF:ää, vaikka se sisältyy usein nykyisiin HF-transceivereihin.

K. Loppusanat

Toivon, että tämä dokumentti auttaa ymmärtämään antennijärjestelmien monia näkökohtia ja niiden vaikutusta toisiinsa. Tiedän, että tässä on paljon muistettavaa, mutta en ole oikeastaan kirjoittanut paljoakaan tehokkaasti toimivien antennijärjestelmien hienouksista. Tämä teksti käsittelee ennemminkin yleisiä sääntöjä.

Tätä tekstiä suomentaessani huomasin, että alan pikkuhiljaa unohtamaan äidinkielen. Toivottavasti tekstissä ei ole kovin pahoja virheitä. En ole vuosikausiin juurikaan käyttänyt suomea, kun kotikielenäkin on englanti.

73, Jukka - SV9RMU ja OH2AXE
sähköposti: oh2axe@gmail.com