

Visa Forsby

# Antennijärjestelmän optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri, ylempi AMK

Automaatioteknologia

Opinnäytetyö

17.6.2016

Tekijä(t) Otsikko	Visa Forsby Antennijärjestelmän optimointi
Sivumäärä Aika	28 sivua + 2 liitettä 17.6.2016
Tutkinto	Insinööri, ylempi AMK
Koulutusohjelma	Automaatioteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Kari Vierinen Järjestelmäinsinööri Mikko Kyllönen
<p>Tiedonsiirtojärjestelmien päivittyminen Merivoimien aluksissa on tuonut esiin jo aikaisemmin havaittuja ongelmia ja myös ennestään tunnistamattomia ongelmia. Tässä työssä perehdytään tiedonsiirtojärjestelmien problematiikkaan aluksen antennien osalta. Työ on rajattu Hamina-luokan ohjusveneeseen.</p> <p>Antennien osalta ongelmallisiksi ilmiöiksi on havaittu kuuluvuuden satunnainen häipyminen ja keskeishäiriöt eri järjestelmien kesken. Näitä ongelmia on kuvattu MATLAB:n Antenna Tool Box -simuloinneilla. Simuloinnin pohjalta on tehty päätelmä ja esityksiä ongelman ratkaisuksi.</p> <p>Työssä esitetään eräiden antennien tyyppien muuttamista ja osittaista sijoituspaikkojen vaihtoa. Muutosperusteina on monopoli antennin heikentyvät ominaisuudet riittämättömällä maatasolla ja maston aiheuttama katve sekä kohinatason muutokset.</p> <p>Esitetyt muutokset vaikuttavat myös radioiden käyttöperiaatteisiin, mikäli suunta-antenni poistetaan. Tavoitteena on luoda järjestely, jossa yhteydet on muodostettavissa mahdollisimman kattavasti riippumatta aluksen suunnasta vasta-asemaan nähden. Esityksissä järjestely on pyritty toteuttamaan markkinoilta saatavilla laitteilla.</p>	
Avainsanat	Antenni, suuntavahvistus, simulaatio, vene, radio

Author(s) Title	Visa Forsby Antenna System Optimization
Number of Pages Date	28 pages + 2 appendices 17 May 2016
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Kari Vierinen, Principal Lecturer Mikko Kyllönen, System Engineer
<p>Ships' data communication system update in the Finnish Navy has raised previously identified problems and also identified new problems in the communication systems. This thesis is focused problematic which is found in the ship antenna types and assembly locations. The thesis is limited to Hamina class patrol boat.</p> <p>Most problematic effect in the antenna system is coincidental fading and interference between radio systems. These problems are described with Matlab Antenna Tool Box simulations. On the basis of the simulation is a proposal of a solution to the problem.</p> <p>This thesis presents changing certain antenna types and changing their location. Proposals are based on analyse results of monopole antenna insufficient grounding, noise and shadow created by mast.</p> <p>Proposed changes also affect the use of radios if a directional antenna is removed. The goal is to create an arrangement where the connections are formed as widely as possible, regardless of the direction of the ship. The proposed arrangement is striving to implement the devices available in the market.</p>	
Keywords	Antenna, Directivity, Simulation, Boat, Radio

## Sisällys

### Lyhenneluettelo

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen tavoitteet	1
2.1	HF-antennit	1
2.2	VHF/UHF-antennit	2
2.3	Simulaatiot	2
2.4	Suunnatut lähetteet	3
3	HF-antennit	3
3.1	Erilaiset antenniratkaisut	4
3.1.1	Dipoli- ja Monopoli-antenni	4
3.1.2	NVIS-antenni	5
3.1.3	Runkoon integroitu puoli-luoppi	6
3.2	Virityslaitteprobleema	6
3.3	Olemassa olevien HF-antennien rakenteet ja sijoitukset	7
3.4	Esitys HF-antennien sijoitteluista ja tyypeistä	8
4	VHF/UHF-tiedonsiirto ja antennit	13
4.1	Järjestelmien havaitut puutteet ja ongelmat	13
4.2	Antennien keskinäinen kytkytyminen	14
4.3	Maston kohinan kytkytyminen ja vaikutukset	16
4.4	Päätelmä keskinäisistä häiriöistä sekä kohinatasoista	16
4.5	Ratkaisuehdotus perustuen nykyisten antennien käyttöön	17
5	Radioiden kuuluvuuden tarkastelu	17
5.1	Häiriöympäristön vaikutus kuuluvuuteen	18
5.2	Antennisijoittelun vaikutus kuuluvuuteen	19
6	Suunnitelma ja kehitysesitys antennijärjestelmän päivityksille	21
6.1	Yhden antennin järjestelmä VHF/UHF-taajuusalueen tiedonsiirrossa	21
6.2	Maston antennien yhdistäminen	22
6.2.1	Comrod ACS-001 Antennin ohjausjärjestelmä	23

7	Kehittyneet säätöjärjestelmät antennien ohjauksessa	24
7.1	Antennin valinta	24
7.2	Sumealla logiikalla toteutettava antennien valinta	25
7.2.1	Kiinteät tukiasemat	25
7.2.2	Liikkuvat asemat	26
7.3	Kehittyneellä säätöjärjestelmällä saavutettavia etuja	26
8	Päätelmä	26
	Lähteet	28

## Liitteet

Liite 1. MATLAB-ohjelma suuntakuvioiden mallintamiseen

Liite 2. Periaatteellinen kytkentäkaavio Comrod ACS004:lle

## Lyhenneluettelo

HF	High Frequency. Taajuusalue 3...30 MHz.
VHF	Very High Frequency. Taajuusalue 30...300 MHz.
UHF	Ultra High Frequency. Taajuusalue 300...3000 MHz.
EM	Electromagnetic. Sähkömagneettinen.
NVIS	Near Vertical Incident Skywave. Lähialueella käytetty ionosfääristä heijastuva radioaallon etenemistapa.
$\lambda$	Aallonpituus [m]
dB	Desibeli
MUF	Maximum Usable Frequency. Suurin käytettävä taajuus ionosfääriheijastusta hyödyntävässä tiedonsiirrossa.
MHz	Megahertsi
$P_v$	Vastaanotettu teho [W]
$r$	Etäisyys [m]
$G_i, G_v$	Antennin vahvistus
$P_l$	Lähetetty teho [W]
AGC	Automatic Gain Control. Radion vastaanottimen automaattinen tehon säätö
PIM	Passive Intermodulation. Passiivinen keskeismodulaatio.
LNA	Low Noise Amplifier. Matalakohinainen vahvistin

## 1 Johdanto

Radiojärjestelmien kehittyminen Merivoimien aluksilla on tuonut uusia haasteita signaaliympäristön hallintaan. Kehittyneillä tiedonsiirtomenetelmillä on erilaiset vaatimukset käytettävissä olevalle taajuuskaistalle, mikä osaltaan on luonut tarpeen radiojärjestelmien keskinäiseen häiriönsiedon tarkasteluun.

Tiedonsiirtojärjestelmissä yhteyden muodostus vie normaalisti tietyn ajanjakson. Tällöin yhteyden katkeaminen aiheuttaa viivettä viestin välittämiseen. Antennijärjestelyt, joissa rakenteet aiheuttavat katvetta ja häiriöiden siirtymistä, aiheuttavat operaattorin näkökulmasta yhteyden katkeamisia, joihin ei voida ennalta varautua. Ilmiöt Hamina-luokalla ovat havaittavissa koko viestijärjestelmien kattamalla taajuusalueella.

Antennijärjestelmien optimaalista käyttöä tulee pohtia uudelleen uusien tarpeiden myötä. Tehokkaalla kaistan ja antennijärjestelmien käytöllä voidaan saavuttaa laadukkaampi yhteyden muodostus tukiasemien ja alusosastojen välille. Häiriöiden vaikutusta alukseen itseensä pyritään vähentämään.

## 2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli muodostaa perusteltuja ratkaisuehdotuksia Merivoimien alusten radioantennien sijoittelulle mahdollistaen paremman kuuluvuuden samalla vähentäen radiojärjestelmien keskinäishäiriöitä. Tutkimus keskittyi kuitenkin ainoastaan Hamina-luokan alusten ympäristön kartoittamiseen. Tutkimus jaettiin kahteen tutkimusosaan taajuusalueiden mukaan. Lisäksi työssä otettiin kantaa myös simulaatioon ja suunnattuihin lähetteisiin.

### 2.1 HF-antennit

Hamina-luokan ohjusveneellä on kolme HF-antennia. Yksi antennista on pelkästään vastaanottoantenni ja sijaitsee ohjaamon katolla. Muut kaksi antennia sijaitsevat aluksen peräkannella. HF-kaluston suurin ongelma käyttäjän näkökulmasta on yhteyden epäluotettavuus. Silmämääräisesti havaittava ongelma on aluksen perässä sijaitsevien antennien läheisyys toisiinsa ja aluksen rakenteisiin nähden. Antennien

lähikentässä on mm. taavetti, joka mitoituksensa puolesta resonoi HF-taajuusalueen korkeimmilla taajuuksilla. Taavetti on myös käännettävä, jolloin HF-antennien viritys muuttuu taavetin asennon mukaan.

Operaattorin kannalta ongelmallisinta on yhteyksien muodostumisen satunnaisuus. Operaattorin päätösten tukena on kellonaika ja tieto vasta-aseman suunnasta ja etäisyydestä. Vaikka yhteyden muodostuksen pitäisi oletuksena olla mahdollista, se ei kuitenkaan välttämättä ole tai häipyä aluksen suunnanmuutosten mukaan.

## 2.2 VHF/UHF-antennit

Aluksella on VHF-antenneja, UHF-antenneja ja VHF/UHF-antenneja. Antennit on sijoitettu aluksen mastoon, niin sanottuun peräkolmioon ja ohjaamon katolle. Peräkolmiossa on laajakaistainen ohjattava suunta-antenni. Mastossa on VHF/UHF-antenneja ja UHF-antenneja. Ohjaamon katolla on VHF-antenneja. Suurimmat ongelmat VHF/UHF-alueella muodostuvat antennien keskinäisestä häiritsevyydestä sekä maston aiheuttamista katveista.

VHF/UHF-taajuusalueen liikennöinnillä katetaan näköyhteydessä olevat vasta-asemat. Yhteyden muodostuksessa on havaittu satunnaisuutta, minkä on epäilty johtuvan maston aiheuttamista katveista. Lähetettäessä UHF-taajuusalueella on havaittu häiriöitä muissa radiolaitteissa.

## 2.3 Simulaatiot

Nykyaikaisista simulaatiotyökaluista saadaan merkittävä apu antennijärjestelmien suunnitteluun. Tässä työssä suunniteltiin käytettäväksi FEKO EM -simulaatiotyökalua muodostamaan malli antennien säteilykuvioista ja maston lähellä olevien antennien muodostama kenttä aluksen mastoon. FEKO:n käytöstä luovuttiin ajankäytöllisten ongelmien takia ja yksinkertaisia simulointeja tehtiin MATLAB:n Antenna Tool Box -soveluksella.

Simulaatiolla voidaan tarkastella jo mitattuja säteilykuvioita sekä mallintaa uusien ratkaisujen säteilykuvioita. On todettava, että simuloinnin merkitys uuden aluksen suunnittelussa on merkittävä ja siihen tulisi hankkia osaamista ja resursseja.



Simuloinnin resursseja tulisi pitää yllä koko aluksen elinkaaren, jotta voitaisiin varmistua myös jälkikäteen tehtyjen muutostöiden vaikutuksista kokonaisuuteen.

Puolustusvoimilla on FEKO EM -simulaatiotyökalun lisenssi ja valmiudet sen käyttöön. Työssä käytetty MATLAB:n Antenna Tool Box -sovelluksella voidaan saada kohtuullisella työmäärällä yksinkertaisten rakenteiden vaikutukset simuloitua.

## 2.4 Suunnatut lähetteet

Ympärisäteilevien antennien käyttö aiheuttaa haasteita antennisijoittelulle. Antennit tulisi sijoittaa riittävän kauas aluksen rakenteista, jotta aluksen rakenteet eivät vaikuttaisi antennien säteilykuvioon. Yhtenä ratkaisuna on korvata ympärisäteilevät antennit suunta-antenneilla.

Työssä pohdittiin, voidaanko jo olemassa olevia antenneja käyttää tehokkaammin, mikäli voitaisiin ottaa huomioon kunkin antennin paras suunta vasta-asemaan nähden. Ympärisäteilevä antenni Hamina-luokalla jää käytännössä aina jonkin rakenteen katveeseen. Tähän katvesuuntaan yhteyden muodostaminen saattaa olla epävarmaa tai jopa mahdotonta. Koska aluksessa on useita antenneja, voitaisiin antenni valita automaattisesti aina kulloinkin parasta käyttötarkoitusta varten. Suunnattu säteilykuvio heikentää myös toisen osapuolen radiotiedustelua, koska säteilyn määrä on vähäinen muihin kuin tarkoitettuihin suuntiin.

## 3 HF-antennit

HF-taajuusalueen liikennöintiä käytetään puheeseen ja tiedonsiirtoon. Aallonpituus on pitkä, minkä takia myös tehokkaiden antennien koko on yleensä suuri.

HF-taajuusalueella aallon etenemistapoina ovat pinta-aalto, näköyhteysreitti ja ionisfääriaalto. Pinta-aalto vaimenee suhteellisen nopeasti taajuuden funktiona, joten ionisfääriaalto on pääetenemistapa.

Muodostettaessa yhteys ionisfääriaallolla saattaa käytettävästä antennista riippuen HF-taajuusalueella jäädä kuollut alue 30...60 km:n etäisyydelle asemasta. NVIS-

antennilla (Near Vertical Incident Skywave) voidaan toteuttaa yhteys lähialueelta 300 km:iin asti. [1, s. 65.]

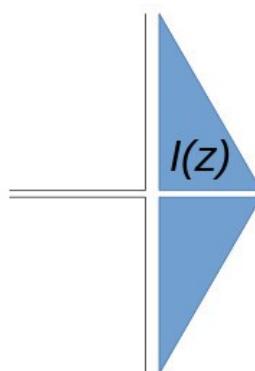
Pinta-aallon tapauksessa pinta muodostaa radioaallon kanssa sähköisen piirin. Radioaallon etenemiseen vaikuttaa merkittävästi pinnan johtavuus ja käytettävä taajuus. Vaakapolarisaatiossa pinta oikosulkee radioaallon sähkökentän, jolloin vaimeneminen on huomattavasti nopeampaa kuin pystypolarisaatiolla. [2, s. 19.]

Ionisfääriaallon tapauksessa voidaan käyttää vaakapolarisoituja antennoja, koska ionisfääri muuttaa lähetyksen polarisaatiota joka tapauksessa satunnaisesti [1, s. 75]. Pinta-aallon tapauksessa etenemisen edellytys on pystypolarisaatio. Näköyhteysreittiä ajatellen pystypolarisoidun antennijärjestelmän tekeminen on vaakapolarisoitua helpompi, johtuen yleisimpien antennirakenteiden ominaisuuksista.

### 3.1 Erilaiset antenniratkaisut

#### 3.1.1 Dipoli- ja Monopoli-antenni

Käytännön antenneista puolenaallon dipoliantenni on yksinkertaisin. Siinä syöttöpisteestä vastakkaisiin suuntiin osoittaa kaksi säteilyelementtiä joiden pituus on yhteensä  $\lambda/2$ . Puolenaallon dipolissa virtajakauma antennin elementeissä alkaa näkyä aaltomaisena. Puolta aallonpituutta lyhyemmissä antenneissa virtajakauma jakaantuu kolmion malliseksi kuvan 1 mukaan. [3, s. 147.]



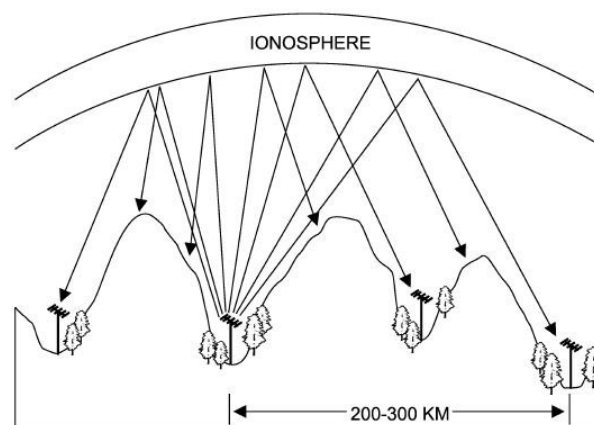
Kuva 1. Dipoliantennin virtajakauma puolta aallonpituutta lyhyemmässä antennissa

Käyttökelpoisempi antenniratkaisu monessa olosuhteessa on monopoliantenni. Resonanssissa olevan antennin pituus syöttöpisteestä on silloin  $\lambda/4$ . Syöttöpisteen vastakkaisella puolella on maataso. Olettaen, että maataso on kauttaaltaan johtava ja siihen liittyvät dimensiot ovat merkittävästi aallonpituutta suuremmat, voidaan antenna tarkastella kuten puolen aallon dipoliantennia. Merkittävänä erona puolen aallon dipoliantenniin on, että maataso luo antennista tavallaan peilikuvan, mistä syystä monopoliantennin suuntaavuus on myös kaksinkertainen dipoliantenniin verrattuna.

Jotta monopoliantenni olisi käyttökelpoinen ja sen käyttäytyminen olisi ennustettava operaattorin näkökulmasta, tulisi se sijoittaa hyvin johtavan ja aallonpituuteen nähden suuren tason päälle. Hamina-luokalla monopoliantennin käytössä saattaa ilmetä hiilikuitupintojen johtavuuden vaihteluista sekä liian pienistä maatasoista aiheutuvia ongelmia. Maatason reunalla antennin suuntakuviot ovat hyvin erilaiset verrattuna siihen mitä se olisi sen keskellä, mikä on nähtävissä kuvasta 5.

### 3.1.2 NVIS-antenni

NVIS-antennin (Near Vertical Incident Skywave) säteilykuviot ovat  $60^\circ \dots 90^\circ$  kulma-alueella säteilleen lähes suoraan ylöspäin. NVIS-antenni hyödyntää täten lähes yksinomaan ionosfääriheijastusta, mikä on esitetty kuvassa 2. Hyvä NVIS-antenni ei säteile pinta-aaltoa. Antennit jotka säteilevät myös vahvaa pinta-aaltoa, saattavat aiheuttaa häiriöitä ionosfääriheijastuksen vastaanottoon. [4, s. 117.]

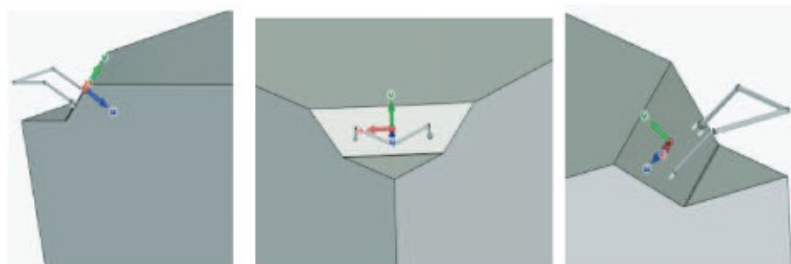


Kuva 2. Kuvassa on NVIS -antennin periaatteellinen yhteydenmuodostus, missä radioaalto heijastuu n. 300 km:n korkeudesta takaisin maahan. [4, s. 118.]

### 3.1.3 Runkoon integroitu puoli-luuppi

Cobhamn Antennas ja Constructions of Mecaniques de Normandie ovat tehneet taitelualuksen runkorakenteisiin integroidun suorituskykyisen HF-antennin. Antenniraketeella päästiin 1000 km:n testietäisyydellä yli 10 dB parempaan signaali-kohina suhteeseen verrattaessa tavanomaiseen monopoliantenniin ja saatiin myös tutkapaikkipinta-alaa pienennettyä useimmilta suunnilta noin 20 dB. [5]

Runkoon integroitu rakenne ei kuitenkaan tässä tapauksessa vaikuta järkevältä saataavuuden ja rakenteiden kannalta. Menetelmä vaatisi Hamina-luokalla merkittäviä muutoksia rakenteellisiin ratkaisuihin ja antennielementtien aluskohtaista suunnittelua. Rakenne olisi kuitenkin uutta alusta ajatellen varteenotettava erityisesti pienentyneen tutkapaikkipinta-alan ansiosta.



Kuva 3. Kuvassa on runkoon integroitu puoli-luuppi, joka on sijoitettu aluksen peräkannen kulmiin. Antennielementtien päälle on asennettu radomit. [5, s.171.]

### 3.2 Virityslaitteeprobleema

Tutkimuksen alussa mietittiin mahdollisuutta myös virityslaitteeprobleemalle. HF-antennit on varustettu virityslaitteilla, joiden tehtävä on sovittaa antenni lähinvastaanottimen käyttämälle taajuudelle. Antenni on kiinteä monopoli, jolloin sen sovitus ei ole optimaalinen kaikille taajuuksille. Virityslaite virittää antennin näyttämään lähinvastaanottimelle sellaiselta, kuin se olisi sovitettu kulloinkin valitulle taajuudelle. Virityslaiteongelman voisi muodostaa kahden tai useamman antennin liian pieni etäisyys toisistaan. Antenni muodostaa ympärilleen lähikentän, kun siihen syötetään tehoa. Jos lähikentässä tapahtuu muutos, muuttuu myös antennin viritysparametrit.

Jos kaksi antennia on liian lähellä toisiaan, vaikuttaa ensimmäisessä antennissa tapahtunut muutos aina myös toiseen antenniin. Tämä aiheuttaa ensimmäisen virityslaitteen virittymisen uudelleen, jonka jälkeen toiseen antenniin nähden viritys on taas muuttunut.

Virityslaitteongelma aiheuttaa tehon palaamista antennilta takaisin lähettimelle, mikä vaikuttaa lähetetyn tehon kautta kantamaan ja mahdollisesti lähettimen ikään. Kun lähetettävä teho palaa takaisin lähettimeen, joutuu lähetin suuremmalle rasitukselle, jolloin sen ikä on oletettavasti lyhyempi. Lähikentän muutos vaikuttaa myös antennin suuntaavuuteen, jolloin maksimaalinen lähetysteho saattaa suuntautua väärin.

Virityslaitte ei kuitenkaan muodostanut varsinaisesti ongelmaa. Syyt olivat seuraavat:

1. Virityslaitteet eivät toimi automaattisesti, jolloin laitteet eivät voi jäädä "kiertämään" ja etsimään sopivaa viritystä.
2. Radiot viritetään aina manuaalisesti kun taajuutta vaihdetaan.

Virityslaitteisiin on ohjelmoitu parametrit, joilla antennit virittyvät automaattisesti ennalta ajetun ohjelman mukaisesti. Lisäksi operaattorin haastattelun perusteella operaattorit on koulutettu tekemään viritys aina molempiin radioihin taajuuden vaihdon jälkeen.

### 3.3 Olemassa olevien HF-antennien rakenteet ja sijoitukset

Peräkannen HF-antennit on sijoitettu kannella olevan avoimen tilan kulmiin. Takimainen antenni on peräkulmassa kulmassa, missä kansi loppuu. Etummainen antenni on kulmassa, jossa sitä vasten on aluksen rakenteita. Kolmas antenni on ohjaamon katolla. Tämä antenni on monitorointiantenni. Antenni on sijoitettu lähelle ohjaamon katon kulmaa.

Kaikki edellä mainitut antennit ovat malliltaan monopoliantenneja. Antenneista vain ohjaamon katon monitorointiantenni on aallonpituutta selkeästi lyhyempi, muiden ollessa lähempänä  $\frac{1}{4}$  aallonpituuden mittaisia.

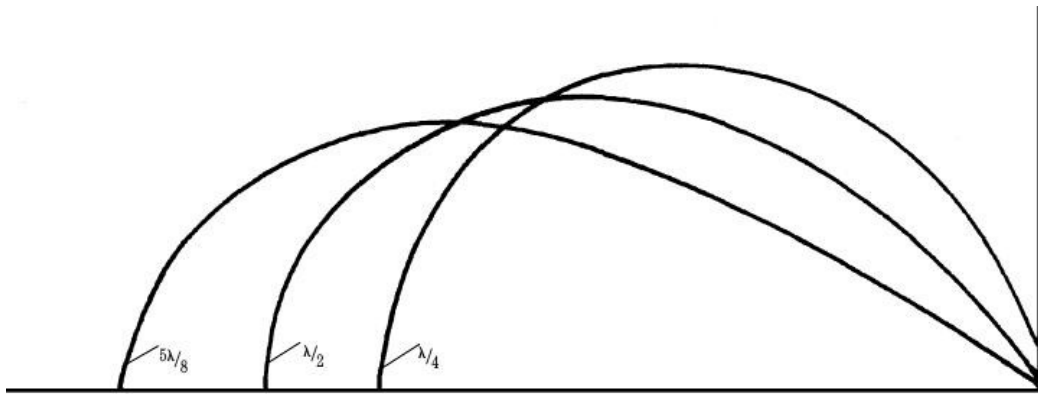
### 3.4 Esitys HF-antennien sijoitteluista ja tyypeistä

Antennien sijoittelulle aluksella ei ole merkittävästi vaihtoehtoja nykyisiin sijoituksiin verrattuna. Sen sijaan antennien tyyppejä voidaan muuttaa. Antennien sijoittelussa ja tyyppien valinnassa olisi hyvä noudattaa seuraavia periaatteita:

1. Monopoli-antenni sijoitetaan mahdollisimman lähelle yhtenäisen maatasen keskipistettä.
2. Jos kaksi saman taajuusalueen antenna joudutaan asentamaan lähelle toisiaan, tulisi ne asentaa päällekkäin. [6, s. 2]
3. Toisiaan lähellä olevat antennit tulisi olla aaltoimpedanssiltaan erilaiset.

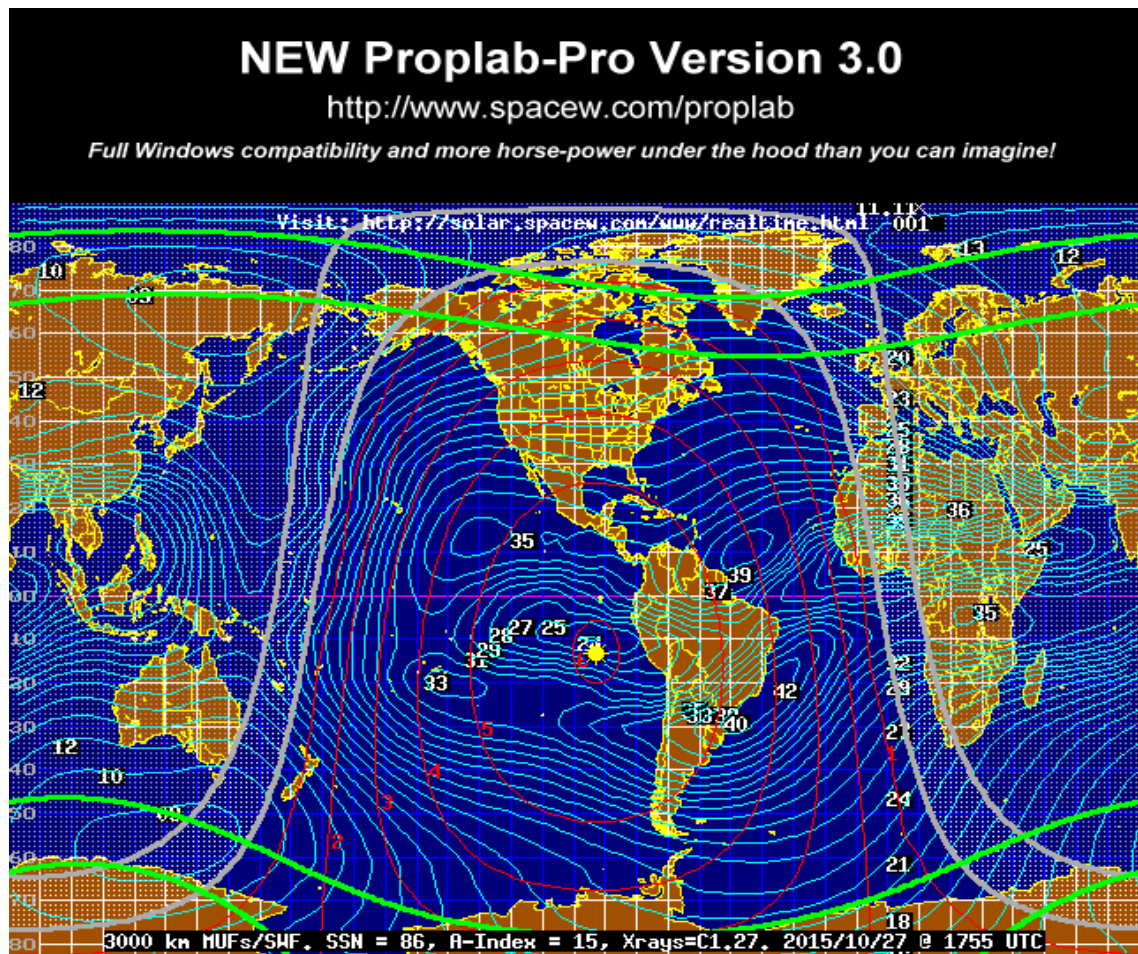
HF-antennien osalta päällekkäin sijoittaminen ei ole mahdollista. Myöskään monopoli-antenneja ei ole mahdollista sijoittaa keskelle maatasoa ja maataso jää kaikissa tapauksissa selvästi aallonpituutta pienemmäksi, mikä on hyvä suuntaa antava mitta antenna sijoitettaessa. Kokonaisuudeltaan kuuluva järjestelmä voisi olla seuraavan lainen:

Peräkannelle sijoitettu taaimmainen monopoli-antenni jää edelleen peräkannelle. Sijainti muutetaan oikeasta reunasta keskilinjalle, millä osaltaan parannetaan suuntaku-  
vion yhtenäisyyttä häivyttäen maksimi- ja minimiarvoja. Antennin pituus voi olla nykyistä lyhyempi, mikä osaltaan parantaa antennin ominaisuuksia tässä tekstissä ajateltuun käyttötarkoitukseen. Antennin pituuden vaikutus on esitetty kuvassa 4. Antennia tullaan pääasiassa käyttämään alusten välisessä liikennöinnissä hyödyntäen näköyhteysreittiä ja antennin hyvää vahvistusta matalille kulmille. Käyttökelpoinen yhteysväli tulee olemaan 30...60 km. Yhteysväli riippuu maastosta ja vuodenajasta. Sulan veden aikaan merenpinnan johtavuus on suurempi, jolloin myös pinta-aallon muodostus on suurempi ja yhteysväli oletettavasti kasvaa.



Kuva 4. Antennin pituuden vaikutus suuntakuviin. Lyhyemmällä antennilla suuntakuviio on matalempi. [4]

Aluksen keskiosaan sijoitetaan puolialtoluuppi (NVIS-antenni). Sijoituksella pienennetään antennien lähikentän vaikutuksia toisiinsa, mikä vaikuttaa keskinäiseen kytkeytymiseen ja luodaan yläilmakehää hyödyntävä antenniratkaisu. Antennin käyttötarkoitus tulisi olemaan tiedonsiirto- ja puheliikenne valtakunnallisesti. On kuitenkin huomioitava, että tässä ratkaisussa on tarkasteltava myös käytettävää taajuutta vuodenajan ja päivän mukaan. MUF, eli Maximum Usable Frequency vaihtelee pääasiassa 6...40 MHz:n välillä. Kuvassa 5 on esimerkki paikallisesta vaihtelusta.



Kuva 5. Esimerkkutilanne suurimmasta käytettävästä taajuudesta [7].

Markkinoilta saatava antenniratkaisu voi olla Cobham 3190-99 [8], jonka komponentteja on käytetty myös luvun Virhe: Viitteen lähde ei löydy antennissa. Toinen ratkaisu voisi olla kuvassa 6 Cobham Series 465 [9], joka on matala ja siten helpommin sijoitettavissa.



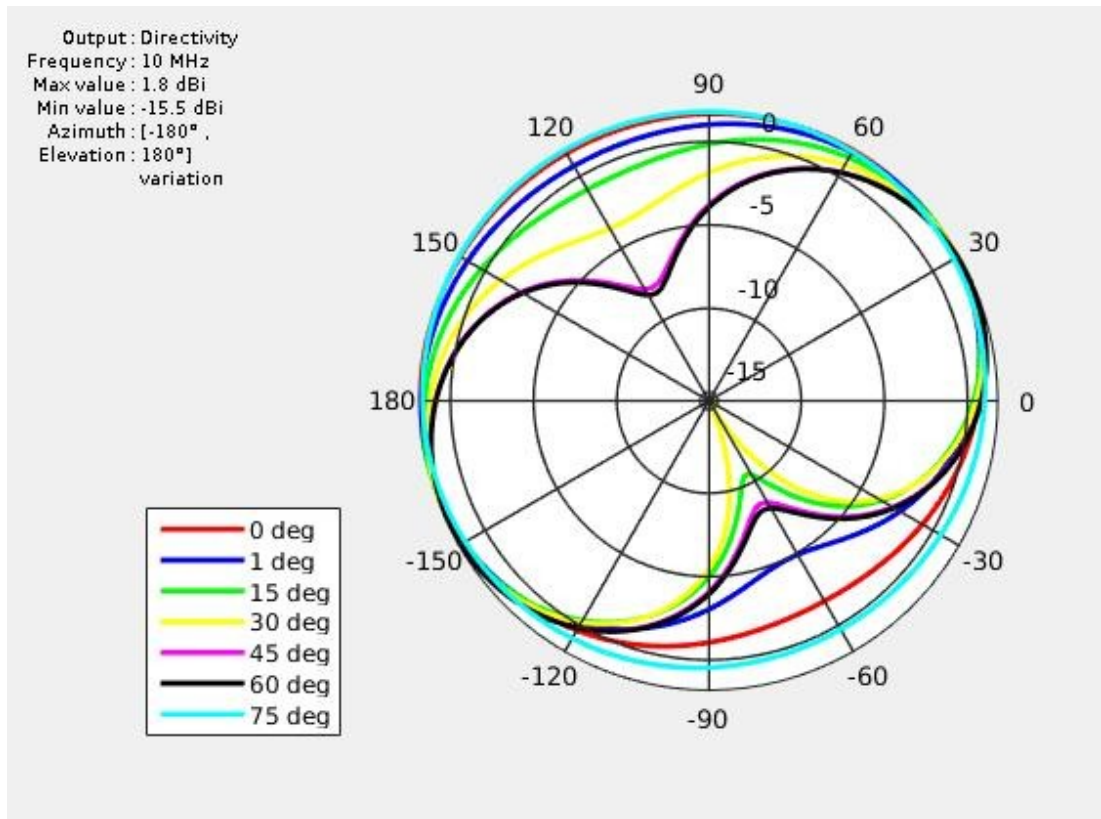


Kuva 6. Cobham series 465 Towel Rail -antenni taajuusalueelle 2...30 MHz [9]

Ohjaamon katolle sijoitetaan silmukka-antenni. Silmukka ei tarvitse maatasoa ja sopii siksi paikkoihin, joissa aallonpituuteen nähden sopivaa maatasoa ei ole tarjolla. Ohjaamon katto tulee edelleen hyödyntää, jotta voidaan saada antenneille paikat, missä niiden etäisyys on mahdollisimman suuri. Lisäksi käyttäen sekä monopoli-antenneja että silmukka-antenneja saadaan aaltoimpedanssien erot maksimoitua.

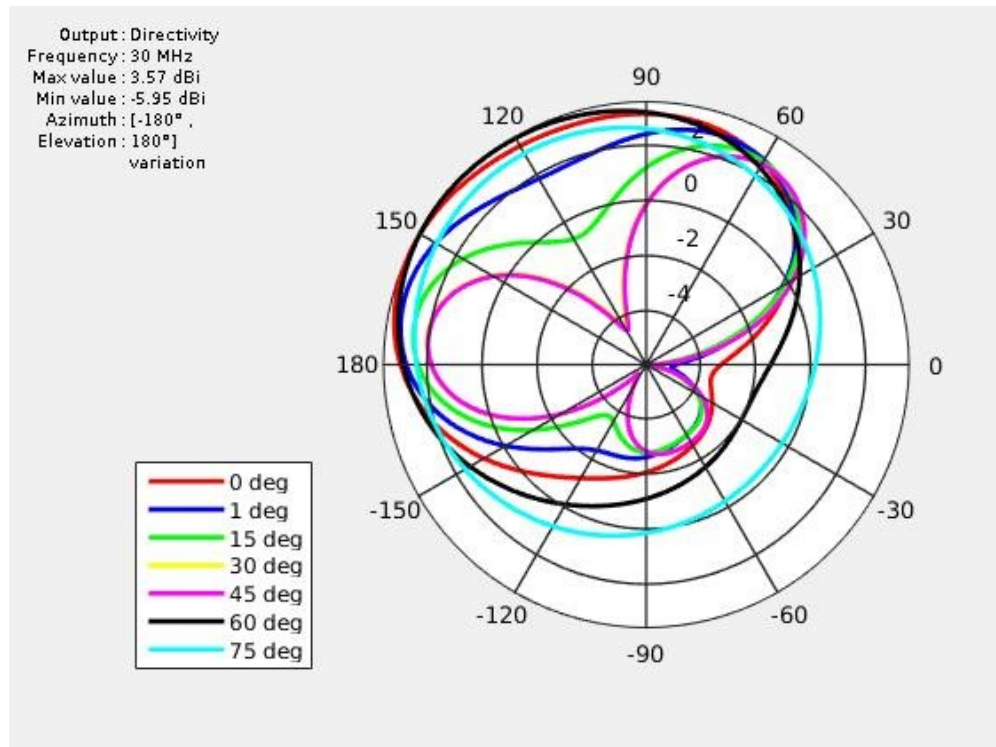
Suurella aaltoimpedanssien erolla vaikutetaan siihen, kytkeytykö teho siihen kapasitiivisesti vai induktiivisesti, eli onko vallitseva kenttä sähkökenttä vai magneettikenttä. Silmukka-antennilla on matala impedanssi ja kytkeytymistapa on induktiivinen. Vastaavasti monopoli-antennilla impedanssi on korkea ja kytkeytymistapa kapasitiivinen.

Vaikka antennin maatasan ei voida ajatella loppuvan siihen pisteeseen, mihin ohjaamon katon reuna loppuu, tulee siinä pisteessä kuitenkin merkittävä muutos maatasoon. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty Matlabin Antenna Tool Box -sovelluksella tehty yksinkertainen mallinnus ohjaamon katolla sijaitsevista antenneista ja niiden suuntakuvioista. On huomioitavaa, että sama ilmiö toistuu myöskin peräkannen kulmaan sijoitetulla antennilla. Merivesi luo aluksen ympärille johtavan tason, joka toimii osittain maatasona. Käyttöympäristön veden suolapitoisuus on kuitenkin pieni, jolloin muodostunut maataso on heikko. Suolapitoisuus vaikuttaa veden johtavuuteen nostamalla sitä ja siten myös parantaa maatasoa. Jään johtavuus on avovettä heikompi.



Kuva 7. Ohjaamon katolla olevan HF-antennin simuloitu suuntakuviot 10 MHz:n taajuudella. Aluksen keula osoittaa suuntaan 0 ja antenni on sijoitettu ohjaamon katon oikeaan reunaan.

Ohjaamon katolle asennetun antennin simuloinnissa havaitaan pienillä taajuuksilla sijainnin vaikutus, kun elevaatiokulma nousee yli 15 asteen. Kuvasta 8 havaitaan katon reunan vaikutus selkeämmin varsinkin pienillä elevaatiokulmilla. Monopoli-antennilla tulee olla periaatteellinen peilikuva maatasosta. Suuntakuviota voidaan vaikuttaa tällä antenniratkaisulla kallistamalla antennia.



Kuva 8. Ohjaamon katon HF-antenni 30 MHz:n taajuudella simuloituna.

#### 4 VHF/UHF-tiedonsiirto ja antennit

VHF-, UHF- ja VHF/UHF-antenneja on aluksen mastossa, ohjaamon katolla ja niin sanotussa peräkolmiossa. VHF/UHF-antenneilla käytetään puheradioliikenteeseen ja dataliikenteeseen useina eri sovellutuksina.

##### 4.1 Järjestelmien havaitut puutteet ja ongelmat

Suurin puute nykyisessä järjestelmässä liittyy antennien sijoitteluun. Antennit ovat poikkeuksetta johonkin suuntaan leveän maston katveessa, kuten kuvasta 9 on havaittavissa.

Antennit ovat ympärisäteileviä, lukuun ottamatta yhtä, joka on mekaanisesti suunnattava. Tämän antennin käyttö rajoittuu kiinteiden tukiasemien seuraamiseen, koska operaattorilla ei ole muiden työtehtävien ohessa aikaa huolehtia suunta-antennin suuntaamisesta liikkuvaan yksikköön.

Tavoitteena radiojärjestelmälle on mahdollisimman hyvä kantama ja yhteyden hyvä laatu. Mastoon sijoitettujen VHF/UHF-antennien kyky vastaanottaa toista asemaa on havaittu vaihtelevan merkittävästi aluksen keulasuunnan ja käytetyn taajuuden mukaan. Tähän vaikuttaa maston läheisyys antenniin, jolloin masto toimii heijastuspintana. Kiinteästi yhteyttä heikentää mastosta siirtyvä korkea kohinataso antenniin. Varsinkin UHF-lähetysten on havaittu häiritsevän myös maston päällä olevia TV-vastaanottimen ja GPS-antenneja.



Kuva 9. Hamina -luokan aluksen masto ja siinä sijaitsevat VHF/UHF-antennit.

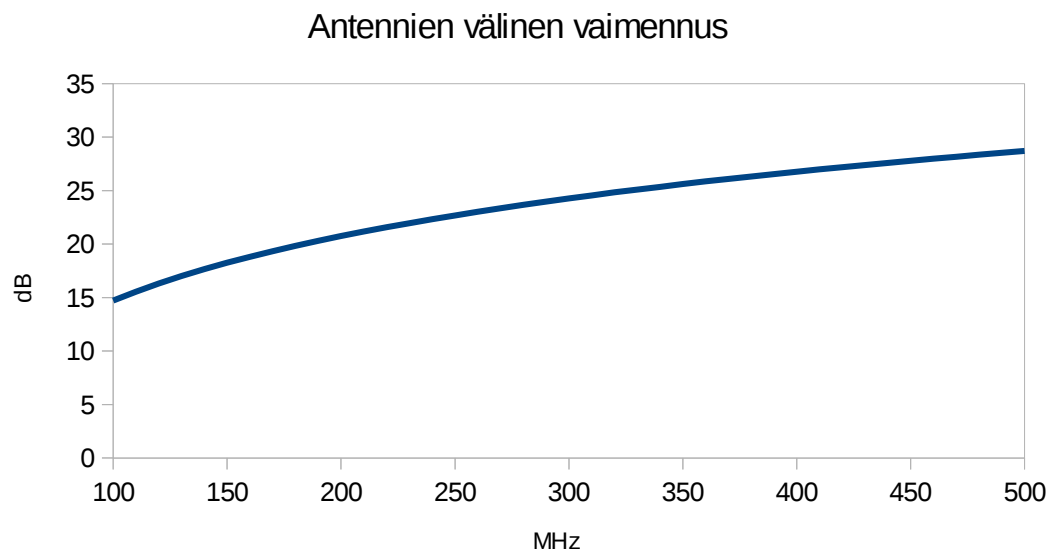
#### 4.2 Antennien keskinäinen kytkeytyminen

Antennien keskenäinen kytkeytyminen voidaan arvioida käyttäen Friisin yhtälöä, mikäli antennit eivät ole toistensa lähikentässä, niiden lähikentässä ei ole aallonpituuden kanssa samalla taajuusalueella olevia kappaleita tai välissä merkittäviä esteitä. Ohjusvene Raahella tehtyjen mittausten perusteella voitiin arvioida kytkeytyksen olevan hyvin lähellä Friisin-yhtälöllä saatua arvoa. Kaavassa

$$P_v = \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 G_l G_v P_l$$

(1, [3 s.166.]

$P_v$  on vastaanotettu teho,  $\lambda$  aallonpituus,  $r$  antennien etäisyys,  $G_t$  ja  $G_v$  antennien vahvistukset ja  $P_t$  lähetetty teho. Kaavan pohjalta on tehty kuvaaja 1, joka osoittaa antennien välisen vaimennuksen taajuuden funktiona. Oletuksena antennien etäisyys on 2,4 m ja vahvistus 2,3 dB.



Kuva 10 Mastoon asennettujen antennien välinen laskettu vaimennus taajuuden funktiona

Edelliseen kuvaajaan tulee ottaa huomioon antennien ominaisuudet valitulla taajuudella ja kaapeleiden vaimennus. Mitattu tulos Rauma-luokalla oli vastaavassa tilanteessa 300 MHz:n taajuudella n. 30 dB. Antennien välinen kytkeytyminen saattaa lisääntyä mastoon indusoituvien pintavirtojen kautta. Tämä kytkeytymismekanismi saattaa olla aiheuttaja myös TV- ja GPS-antennien häiriöissä.

Tutkittaessa antennien keskinäistä kytkeytymistä ei voida jättää täysin huomiotta aluksen EMC-tarkastelua yleisellä tasolla. Tarkasti ottaen antennia ei voida määrittää olemaan ainoastaan radion perässä oleva säteilyelementti. Myös aluksen rakenteet ja kaapelointi voi toimia osaltaan säteilevänä elementtinä. Esimerkkinä voidaan käyttää viestisillan tuulilasien metallisia rakenteita, joiden on havaittu virittyvän VHF-taajuudelle lisäen antennien välistä kytkeytymistä. Muusta maatasosta irrallinen komponentti lisää myös aluksen tutkapaikkipinta-alaa.

#### 4.3 Maston kohinan kytkeytyminen ja vaikutukset

Maston aiheuttamaa kohinan lisäystä antennissa on vaikea arvioida. Siihen vaikuttaa kulloinenkin tilanne maston muiden antennien osalta sekä myös maston lämpötila ja maston materiaali. Maston pinnan lämpötilan kohotessa siitä syntyvä kohinataso nousee lämpötilan neljännessä potenssissa [10, s. 419]. Mastosta antennille vastaanotettava kohinateho on riippuvainen sekä pinta-alan neliöstä että etäisyyden neliöstä [11, s. 2]. Maston aiheuttama kohina suunta-antennille, jota ei ole asennettu mastoon, on arviolta 20 dB pienempi kuin se on mastossa olevassa antennissa. Antennin etäisyyden kasvattaminen mastosta 0,5 m:stä 1,5 m:iin vähentäisi maston aiheuttamaa kohinatasoa n. 9 dB. Vaikutus datalinkkijärjestelmien yhteysetäisyydessä olisi hyvin merkittävä. Käytännössä muu ympäristön aiheuttama kohina saattaa tulla maston aiheuttamaa kohinaa voimakkaammaksi.

#### 4.4 Päätelmä keskinäisistä häiriöistä sekä kohinatasoista

Hamina-luokan aluksessa VHF/UHF-antennit ovat sijoitettu maston neljään sivusakaraan. On oletettavaa, että maston rakenne vaikuttaa merkittävästi antennien suuntaavuuteen. Antennit sivusakaroissa ovat lähikentässä toisiin antenneihin ja mastoon käytettävästä taajuudesta riippuen. Antennien välille tulisi saada etäisyyttä, mikä ei kuitenkaan tässä tapauksessa ole mahdollista. Toinen vaihtoehto olisi sijoittaa antennit päällekkäin, mikä sekään ei ole tilanpuutteen takia vartenotettava vaihtoehto.

Antennisijoittelun suunnittelussa tulisi ottaa huomioon seuraavat viisi kohtaa [12, s. 275.]:

1. Rakenteen osat, jotka ovat  $< \lambda / 10$ , tulee ottaa suunnittelussa huomioon, jos ne on sijoitettu lähemmäs kuin  $\lambda / 4$  antennia
2. Rakenteen osat, jotka on maadoitettu ja kooltaan  $> \lambda / 4$  tai maadoittamattomia  $> \lambda / 2$  tulee ottaa suunnittelussa huomioon, vaikka ne olisivat useiden aallonpituuksien päässä häiriön lähteestä tai kohteesta.
3. Rakenteen osat, jotka on  $> \lambda / 10$  ja  $\lambda / 2$  tai  $\lambda / 4$  tulee ottaa suunnittelussa huomioon, jos ne on sijoitettu lähemmäs kuin  $\lambda / 2$  häiriön lähde tai kohdetta.
4. Kapeat kappaleet luovat teräviä resonansseja kappaleiden resonanssitaajuuksilla.
5. Suuret alat ja leveät kappaleet luovat laajakaistaista häiriötä.

Koska antennit ovat maston lähellä, joka on merkittävästi aallonpituutta suurempi, nousee oletettavasti myös vastaanottimelle tuleva kohinataso maston vaikutuksesta.

Nykyisten antennien valintaperusteina voitaisiin nähdä soveltuvuus laajalle kaistalle ja sitä kautta radioiden muokattavuus ja taajuuskaistojen käytön joustavuus. Käytössä olevien radiojärjestelmien taajuuskäyttö on kuitenkin siinä määrin rajoittunutta, että perusteltavaa olisi käyttää kapeakaistaisempia antenniratkaisuja. Kapeakaistaisempien antenniratkaisujen käyttö vähentäisi järjestelmien keskinäistä häiritsevyyttä, mikä on perusteltu seuraavassa luvussa.

#### 4.5 Ratkaisuehdotus perustuen nykyisten antennien käyttöön

On oletettavasti mahdollista parantaa linkkibudjettia käyttäen nykyisiä antenneja. Ratkaisuun liittyy oletettava maston aiheuttamasta kohinatason noususta ja menetelmä missä mastoa hyödynnetään heijastimena.

Ratkaisussa maston päälle asennetaan levy, joka on sähköisesti irti mastosta ja jonka johtavuus on hyvä. Ratkaisussa oletetaan seuraavien väitteiden toteutuvan:

- Laajakaistainen kohina vähenee heijastinelementin pinta-alan pienentyessä.
- Sähköisesti hyvin johtava pinta aiheuttaa pienemmän kohinan.

Nykyisellään mastoa ei ole suunniteltu toimivan heijastimena. Mastossa on todellisuudessa pyritty mahdollisimman vähän heijastavaan pintaan. Parantamalla maston heijastusta antennin takana saadaan kohinalämpötilaa pudotettua. Heikentävänä tekijänä tulee tutkapoikkipinta-alan nousu.

## 5 Radioiden kuuluvuuden tarkastelu

Radion vastaanottama häiriö nostaa sen kohinatason. Koska radion automaattinen tehonsäätö on yleensä toteutettu integroivana systeeminä radion vastaanottokanavan koko leveydeltä, vaikuttaa kaikki vastaanottokanavalle tuleva häiriö radion automaattiseen tehonsäätöön [11, s. 9].

Radioon kytketty antenni määrittelee, mistä ja mihin suuntaan säteilyä suunnataan. Vääränlaisella antennin valinnalla vasta-asemien välinen suurin etäisyys voi laskea useita kilometrejä.

### 5.1 Häiriöympäristön vaikutus kuuluvuuteen

Radiossa käytetään automaattista tehon säätöä, koska radion on toimittava laajalla dynaamisella alueella. Vastaanotimessa AGC (Automatic Gain Control) vakioi vastaanotetun signaalitason vastaanottimelle sopivaksi. AGC on välttämätön kaikissa amplitudin muutoksiin perustuvissa modulaatiomenetelmissä. Sitä käytetään kahdesta eri syystä: vahvistamaan radiotiellä häipynyttä signaalia tai estämään vastaanottimen etuasteen kompressoitumisen. [11, s. 9.]

AGC:n muuttaminen on myös häiritsijän tavoite elektronisessa sodankäynnissä. Aiheuttamalla AGC:n nousun häiritsijä estää häirityn saamasta heikkotehoista hyötysignaalia vastaanottimeen.

Aluksen omat lähetteet voivat vaikuttaa vastaanottimen AGC-säätöön. Ongelma ilmenee kun antennien keskinäinen kytkeytyminen on suuri ja taajuusalue on sama. Merivoimien suorittamissa kenttäkokeissa kahden eri valmistajan vastaanottimen välillä havaittiin merkittäviä eroja siinä, kuinka lähellä vastaanottimen keskitaajuutta häiritsevä lähete on. Ero johtuu vastaanottimen rakenteesta ja selektiivisyydestä vastaanottotaajuudelle. Paremmassa vastaanotimessa vastaanottokaista on kapeampi, jolloin häiritsevä lähetin ei aiheuta vastaanottimen etupään yliajautumista viereisellä kanavalla. Ongelma voidaan osittain estää käyttämällä antennilinjassa kaistanpäästösuodattimia. Kaistanpäästösuodattimen käyttö kuitenkin rajoittaa radion taajuuskaistaa, jolloin sen käyttöominaisuudet heikkenevät.

Hamina-luokalla on käytössä myös järjestely, jossa useampi radio on asennettu samaan antenniin. Jos useampi radio on kytketty samaan antennilinjaan, ongelmaksi voi muodostua myös keskinäismodulaatiot. Laajakaistaisessa aktiiviantennissa havaittiin Rauma-luokan kenttäkokeissa usean radiolähetteen keskinäismodulaatioita, jolloin hyötysignaalin signaali-kohinasuhde heikkeni merkittävästi häiritsevien lähetteiden summataajuuksilla. Ratkaisu ongelmaan on, että vahvistin sijoitetaan kaistanpäästösuodattimen jälkeen.



Usean taajuuden käytössä samalla antennilinjalla tulee ongelmaksi myös passiivinen keskinäismodulaatio (Passive Inter Modulation, PIM). Ongelma muodostuu yleensä huonolaatuisissa liittimissä tai liittimien väärässä momentissa.

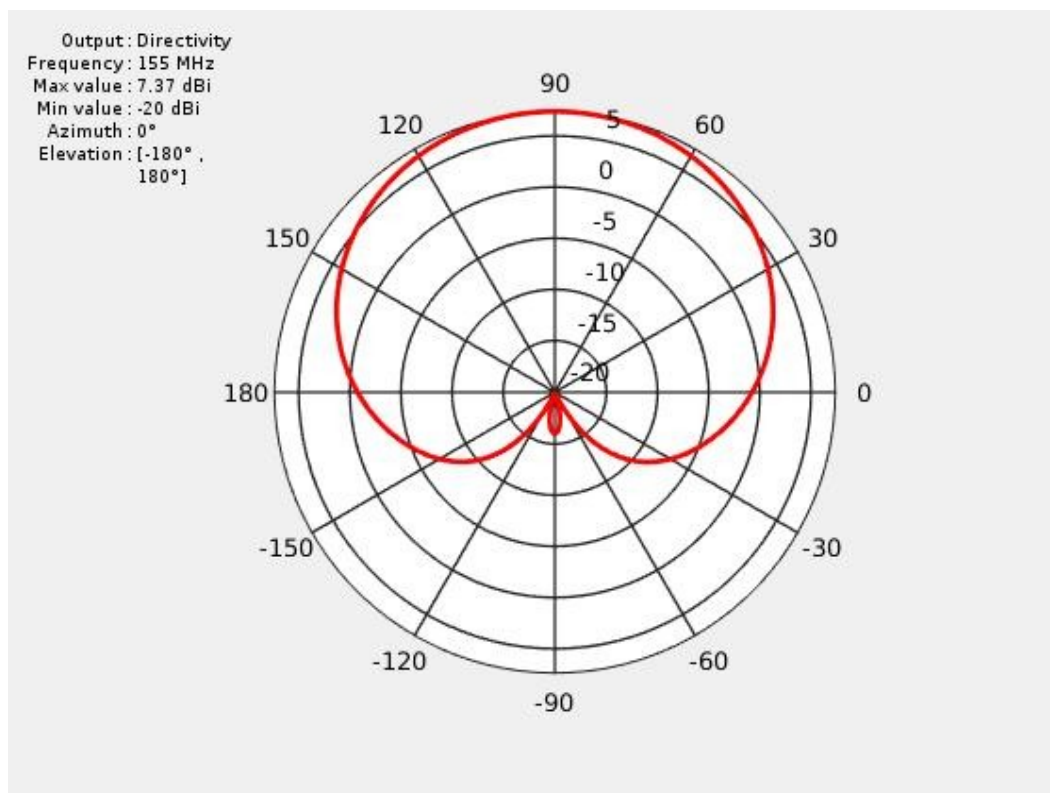
#### Vastaanottimen kohinatason vaikutus kuuluvuuteen

Kohinataso vaikuttaa suoraan siihen etäisyyteen, mistä asti vasta-aseman voi kuulla. Data-linkkijärjestelmissä järjestelmälle määritellään yleensä jokin bittivirhesuhde, jolla järjestelmä voi minimissään toimia. Teoriassa käyttökelpoiselle bittivirhesuhteelle riittää modulaatiosta riippuen 6...10 dB signaali-kohinasuhde. 6 dB pohjakohinatason nousu lyhentää pisintä mahdollista vasta-asemien väliä puolella, koska tällöin vastaanotettavan hyötysignaalin on myös noustava 6 dB. Käytännössä luotettavalle yhteydelle bittivirhesuhde tulee olla keskimäärin korkeampi kuin teoreettinen, koska liikkuvassa yksikössä kohinataso vaihtelee.

#### 5.2 Antennisijoittelun vaikutus kuuluvuuteen

Antennisijoittelun vaikutus kuuluvuuteen on tässä tapauksessa merkittävä. Haminaluokan ohjusveneelle on tehty kenttämittaus, joka osoitti pahimmillaan n. 20 dB suuntaavuuden vaihtelua mastoon asennetussa antennissa. Käytännössä tämä heijastuu yhteyden laatuun, joka on riippuvainen aluksen keulasuunnasta vasta-asemaan nähden.

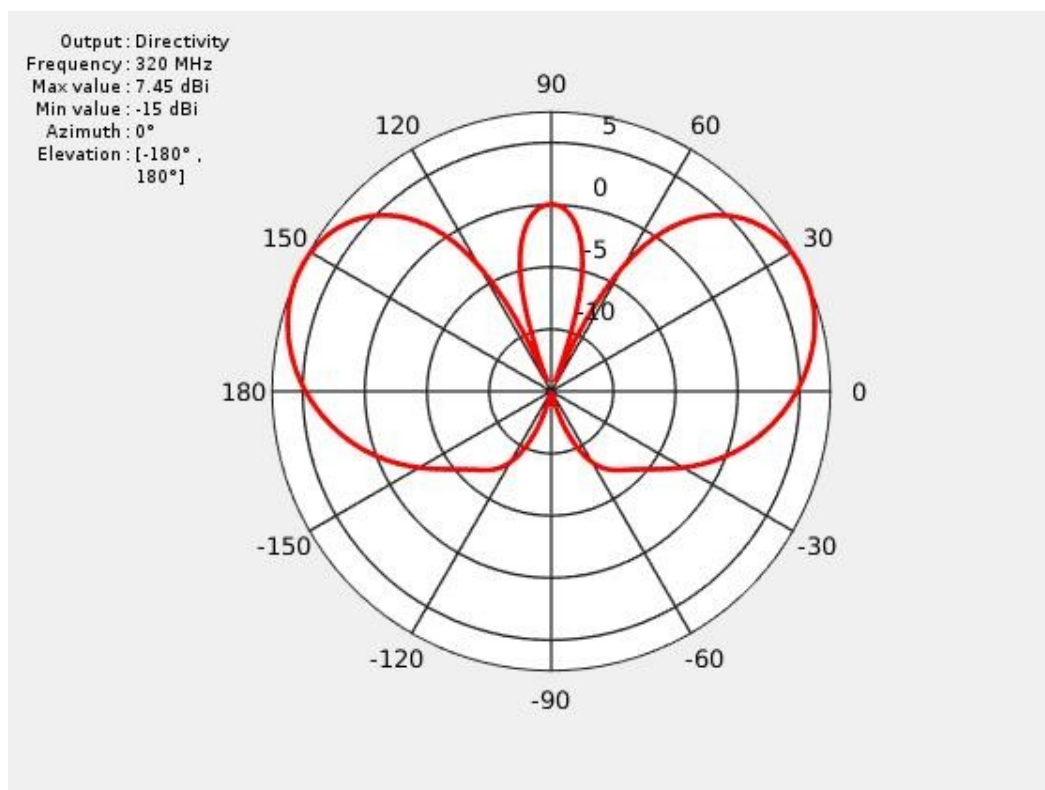
Tässä tapauksessa suuren maston vaikutus yhteyksiin on estää antennin suora näköyhteys maston taakse, sekä toimia heijastimena muihin suuntiin. Vaikutus heijastimena muuttaa antennin suuntaavuutta merkittävästi. Kuvassa 10 on kuvattu maston VHF/UHF-antennin Matlab-simulaatio 155 MHz:n taajuudella. Antennin etäisyys mastosta on n. 0,5 m. Maston vaikutus on vahvistava antennin suuntaan.



Kuva 11. Simuloitu maston vaikutus MATLAB:n Antenna Tool Box sovelluksella 155 MHz:n taajuudella

Kuvassa 11 on esitetty vastaava tapaus 320 MHz:n taajuudella. Kuvassa on huomioitavaa se, että vahvistus antennin suunnalla on heikko. Vaikka antennista olisi suora näköyhteys vasta-asemalle, ei se silti välttämättä säteile vasta-aseaman suuntaan. Erityisesti huomionarvoista on se, että vahvistus parhaisiin suuntiin ylittää alukselle asennetun suunta-antennin vahvistuksen, joka on antennivalmistajan vastaavissa antenneissa 4,5...7 dB [13, s. 10].

Simulointitulokset ovat suuntaa antavia. Niissä masto on kuvattu levynä antennia vasten. Todellisiin tuloksiin vaikuttaa merkittävästi mm. näköyhteys toisiin antenneihin. Simulointitulosten pohjalta on tehty Matlab-sovellus, jonka tarkoituksena on helpottaa operaattorin työskentelyä. Sovellus laskee vahvistuksen ja sopivan antennin käyttäjän valitsemaalle suuntimalle. Sovellus on esitetty liitteessä 1.



Kuva 12: Simuloitu maston vaikutus antenniin MATLAB Antenna Tool Box sovelluksella taajuudella 320 MHz.

## 6 Suunnitelma ja kehitysesitys antennijärjestelmän päivityksille

Järjestelmälle esitettyjen kehitysehdotusten lähtökohtana on ollut markkinoilta löytyvät komponentit. Suunnittelemalla käyttötarkoitusta varten antenni voitaisiin saada luotua tehokkaita ja huomaamattomia antenniratkaisuja.

### 6.1 Yhden antennin järjestelmä VHF/UHF-taajuusalueen tiedonsiirrossa

Aluksen VHF/UHF-taajuusalueiden tiedonsiirto on mahdollista toteuttaa yhden antennin periaatteella. Tässä periaatteessa paras mahdollinen antennin sijoituspaikka otetaan käyttöön kaikille taajuusalueen radioille. Menetelmä on kaupallisesti toteutettavissa esimerkiksi Comrodin tuottamalla radioiden ohjauslaitteella. Menetelmän edut ovat seuraavat:

- Saadaan mahdollisimman ympärisäteilevä antenni käyttöön kaikille radioille.
- Radioiden antennien ympäristömuuttajat ovat helpommin hallittavissa.
- Menetelmä on edullinen.

Haittapuolena voidaan pitää sitä, että suunta-antenni käytännössä menetetään, koska suunta-antennin sijainti on yksi parhaista koko aluksella. Tässä ratkaisussa menetetään myös suunta-antennin tuoma lisäarvo.

## 6.2 Maston antennien yhdistäminen

Ratkaisussa maston antennit yhdistetään yhdeksi antenniksi sektoriantenneilla. Liitteen 2 mukaisella kytkennällä vahvistus muodostuu hieman heikommaksi, mitä vapaassa ympäristössä olevalla dipoliantennilla saataisiin. Maston ansiosta antennille saadaan parempi vahvistus, mutta kytkennällisistä syistä lopullinen vahvistus on edelleen n. 2 dB tai sen alle.

Menetelmä vaatii antennikaapeloinnilta mahdollisimman hyvää viiveiden kontrollointia. Antennien välinen etäisyys aiheuttaa vastaanottoon vaihepoikkeamaa, mutta käytännössä hitaat yhteydet ovat immuuneja poikkeamalle.

Yhdistämällä maston antennit saataisiin luotua kaksi yhden antennin järjestelmää. Poistamalla mastosta nykyiset antennit ja niiden korvaaminen sektoriantenneilla toisi etuna pienemmän kohinan vastaanottimella ja hyvän vahvistuksen vertikaalitasossa. Antennien yhdistämisen tuomat häviöt voidaan poistaa vähentämällä vahvistusta elevaatiossa. Kokonaisjärjestelmän käyttö olisi tällöin seuraava:

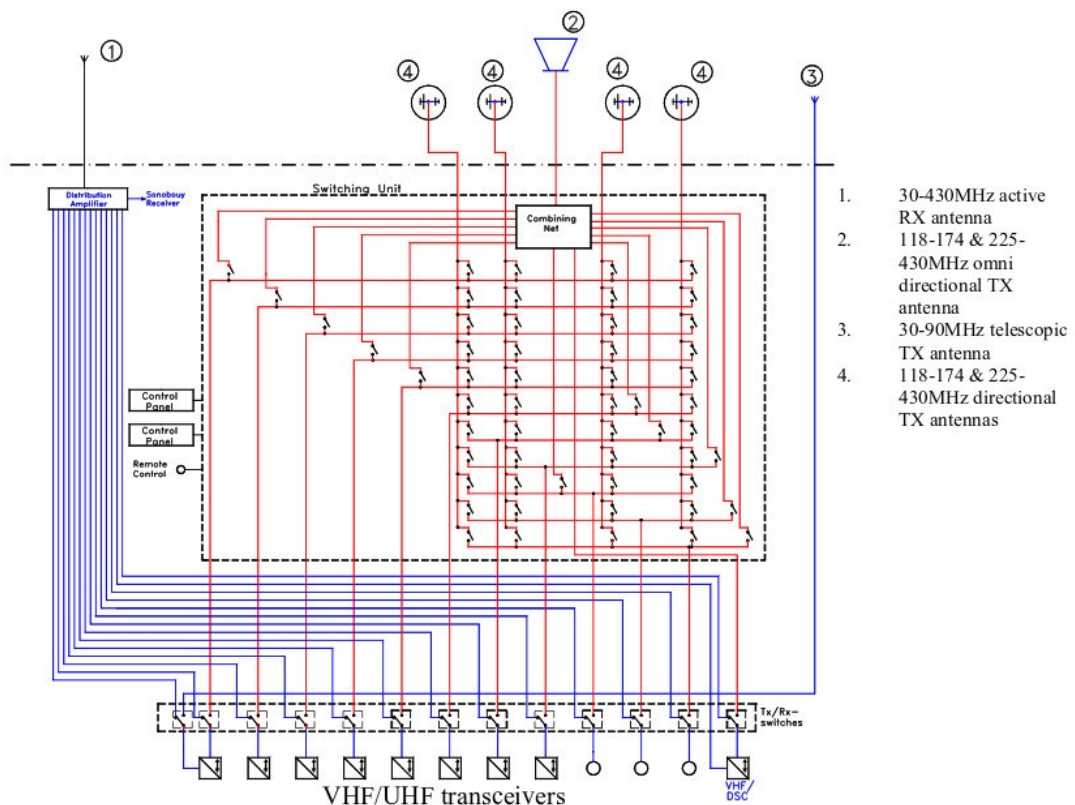
- Peräkolmion ympäriseileävän dipoliantennin käyttö pinta- ja ilma-aluksiin
- Maston antennien käyttö pinta-aluksiin ja kiinteisiin tukiasemiin

Järjestelmän käyttöön soveltuisi esimerkiksi Comrodin ACS004 -antennikytkin [15]. Esimerkki kytkentä on esitetty liitteessä 2. Antenninvalintayksikössä lähetykseen tulee vaimennusta 6 dB, mikäli enemmän kuin yksi radio lähettää kerrallaan. Mastossa antennien yhdistäminen tuo myös 6 dB vaimennusta. Esimerkissä oleva antenni Elti TAN III/10 vahvistaa n. 10 dB [14]. Tämän antennin hyvä puoli on myös oletettavasti pienentyvä tutkapoikkipinta-ala verrattuna nykyisiin antenneihin.

### 6.2.1 Comrod ACS-001 Antennin ohjausjärjestelmä

Comrodin valmistama ACS-001 antennin ohjausjärjestelmä kattaisi nykyisen VHF/UHF-radiokaluston ohjauksen kokonaisuudessaan. Järjestelmän ongelma on suurehko tilan tarve, mikä on käytännössä huonekorkeinen räkki.

Järjestelmän taajuusalue on 30...430 MHz ja siihen voidaan liittää 12 lähetinvastaanotinta. Nykyisellään Hamina-luokalla on 11 radiota, jotka kattavat tämän taajuusalueen. Järjestelmään on suunniteltu kytkettäväksi 7 antennia. Näiden seitsemän antennin paikat Hamina-luokalla voisivat olla ohjaamon katolle asennettu laajakaistainen (30...430 MHz) aktiivinen monitorointiantenni, peräkolmioon asennettu ympärisäteilevä VHF/UHF-antenni, ohjaamon katolle sijoitettu 30...90 MHz:n lähetinantenni ja maston kulmiin sijoitettavat sektoriantennit. Laitteen periaatteellinen kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 12. [15]



Kuva 13. Comrod ACS-001:n periaatteellinen kytkentäkaavio. [Virhe: Viitteen lähdeä ei löydy, s. 2.]

Järjestelmä on alun perin suunniteltu häivealukselle tarkoituksena vähentää antennien määrää. Järjestelmässä yhtä antennia voidaan käyttää vastaanottoon

kaikille radioille. Kuvassa 12 tätä antennia kuvaa antenni 1. Vastaavasti kaikilla radioilla voidaan lähettää antennista 2. Antenni 3 on tarkoitettu matalien taajuuksien lähettämiseen, johon saatavilla olevien VHF/UHF-antennien ominaisuudet eivät ole riittävät. Suunta-antenneilla rajataan oma säteily haluttuun suuntaan. Suunta-antennit ovat kuvassa merkitty numerolla 4.

## 7 Kehittyneet säätöjärjestelmät antennien ohjauksessa

Yhtenä vaihtoehtona yhteyksien luotettavuuden parantamiseen voisi olla antennin valintaan liittyvä automaatio. Automaattisessa järjestelmässä antenni valittaisiin aina tarpeen mukaisesti noudattaen jokaisesta antennista tehtyä suuntariippuvaista mallia.

Hamina-luokan ohjusveneen antennijärjestelmistä on tehty mittaukset maston vaikutuksesta VHF/UHF-tiedonsiirtoon. Mittaukset on tehty asettamalla referenssilähetin rantaan ja kääntämällä alusta 360 astetta samalla tehden 5 asteen välein tason mittauksia. Mittaukset on toteutettu 3 taajuudella. Näissä mittauksissa oli havaittavissa merkittäviä taajuusriippuvaisia ja suunnan mukaan epälineaarisia muutoksia, jotka aiheuttavat mallintamiselle omat haasteensa. On myös huomioitava, että olemassa olevia antennia hyödynnettäessä maston kohinavaikutukset ja antennien keskinäinen häiritsevyys on edelleen olemassa.

### 7.1 Antennin valinta

Antennin suuntakuviot eivät ole lineaariset, mikä aiheuttaa ongelman mallin tekemiselle. Se ei kuitenkaan ole välttämättä ongelma, koska suuntakuviot voidaan simuloida ja säätöjärjestelmä voidaan kytkeä hyödyntämään suoraan simuloitua taulukkoa. Mikäli suuntakuvioista pyrittäisiin luomaan malli, olisi käyttökelpoinen algoritmi Hammerstein-Wiener-malli. Hammerstein-Wiener-malli on luotu epälineaaristen systeemien mallintamiseen.

Periaate ja perusteet miten antenni tulisi valita, ei ole aritmeettinen ongelma. Tilanne vaihtelee merkittävästi, ja erilaisiin valintatilanteisiin on olemassa useita ratkaisuja. Hyviä menetelmiä ovat sumea logiikka tai geneettiset algoritmit.

## 7.2 Sumealla logiikalla toteutettava antennien valinta

Esimerkki sumealla logiikalla toteutettavasta antennien ohjauksesta voisi olla seuraavanlainen, missä sumeat funktiot tulisi jakaa kahteen alaryhmään:

- kiinteät tukiasemat
- liikkuvat asemat.

Lähtökohtaisesti tiettyjä radioita käytetään vain kiinteisiin tukiasemiin ja toisia vain liikkuviin. Tämä periaate helpottaa radioiden valintaoperaatiota. Liikkuvat asemat jaetaan kahteen alaryhmään, jotka ovat:

- nopeat
- hitaat.

Nopeilla tarkoitetaan lähinnä ilma-aluksia ja hitailla pinta-aluksia.

### 7.2.1 Kiinteät tukiasemat

Kiinteän tukiaseman valintaa varten tarvitaan seuraavat tiedot:

- Mikä on raja-arvo jolla vastaanotto onnistuu.
- Mikä on saavutetun ja kuuluvuuskartan mukaan saavutettavissa olevan vastaanottotehon erotus.
- Mikä on se suunta, johon alus on kulkemassa.
- Mikä on alukseen asennetun antennin muodostama suuntakuviio.

Kiinteitä tukiasemia varten tehdään kuuluvuuskartta. Kartan pohjana on pisteet, jotka on laskettu tukiasemien kuuluvuudesta. Karttaan yhdistetään tieto maastosta ja alusten tekemistä kuuluvuusmittauksista. Karttaa voidaan ylläpitää ja siihen lisätä mittausdataa neuroverkko-funktioilla (Self Organizing Map). Jos millään ympärisäteilevällä antennilla ei ole mahdollisuuksia muodostaa yhteyttä kartan pisteestä, siirtyy korkeimman prioriteetin radio käyttämään suunta-antennia.

Raja-arvo jolla vastaanotto onnistuu, on kokeilemalla määritelty radiolle saapuva minimiteho. Kaikilta radioilta lasketaan muuttuja, joka ilmaisee pienimmän tehollisen arvon antennilla siihen suuntaan nähden, mihin aluksen keula osoittaa. Raja-arvon ja vastaanotetun tehon välillä tehdään erotus. Jos erotus on positiivinen, tarkastellaan uutta antennivaihtoehtoa, jossa saavutetun ja kuuluvuuskartan mukainen erotus tulee olla

positiivinen. Jos seuraavana tarkasteltavassa antennissa on pienemmän prioriteetin radio kytkettynä, siirtyy tarkasteltava radio tähän antenniin. Vastaavasti, jos prioriteetti on jo kytketyssä radiossa suurempi, siirrytään tarkastelemaan seuraavaa antenna.

Uuden antennin valinnassa käytetään hyväksi aluksen suuntaa ja antennien suuntakuviota, joista saadaan ensimmäinen saavutettu kuuluvuus. Tätä arvoa ei tallenneta karttaa varten.

### 7.2.2 Liikkuvat asemat

Liikkuvien asemien osalta tarvitaan joko operaattorin tai taistelujohtojärjestelmän ohjausta. On mahdollista, että tärkein suunta, joka yleensä on alusosaston johtoalus, saadaan taistelunjohtojärjestelmältä. Tässä tapauksessa tarkastellaan vain antennien suuntaavuutta.

Nopeasti liikkuviin yksiköihin varmin tapa on luoda yhteys ympärisäteilevällä antennilla. Korkeammalla tuleviin ilma-aluksiin on muutenkin suurempi todennäköisyys saada yhteydet, kuin maaston vaimentamassa ympäristössä oleviin aluksiin.

### 7.3 Kehittyneellä säätöjärjestelmällä saavutettavia etuja

Edellisen hahmotelman edut olisivat hyvin suunnatut lähetteet kulloisenkin tarpeen mukaisesti. Tämä vähentäisin aluksen tiedusteltavuutta. Antennien kytkentä voitaisiin tehdä myös koaksiaalireleillä, jolloin kytkentä vaimennus suuntaaville antenneille laskisi lähes 6 dB.

## 8 Päätelmä

Hamina-luokan ohjusveneen antennijärjestelyjä voidaan parantaa. Parannus vaatii kuitenkin osittain uusien antennien hankintaa ja käyttötapojen kartoittamista. Monopoliantennien korvaamista tulee harkita ja ottaa vaihtoehdona silmukka-antennit. Antenniohjausjärjestelmillä voidaan selkeyttää ja tehostaa aluksen radioliikennettä.



Antennien simuloinnilla voidaan saada merkittäviä hyötyjä antennivalintoja tehdessä. Simulointia tulisi hyödyntää koko aluksen elinkaaren ja pitää mukana jokaisessa rakenteisiin vaikuttavassa muutostyössä.

Tässä työssä ei pystytty tekemään käytännön mittauksia, vaikka ne olisivat antaneet merkittävästi lisäarvoa. Tulevien muutostöiden jälkeen olisi käytännöllistä tehdä laaja testaus aluksen radiojärjestelmien aiheuttamista häiriöistä alukseen itseensä.

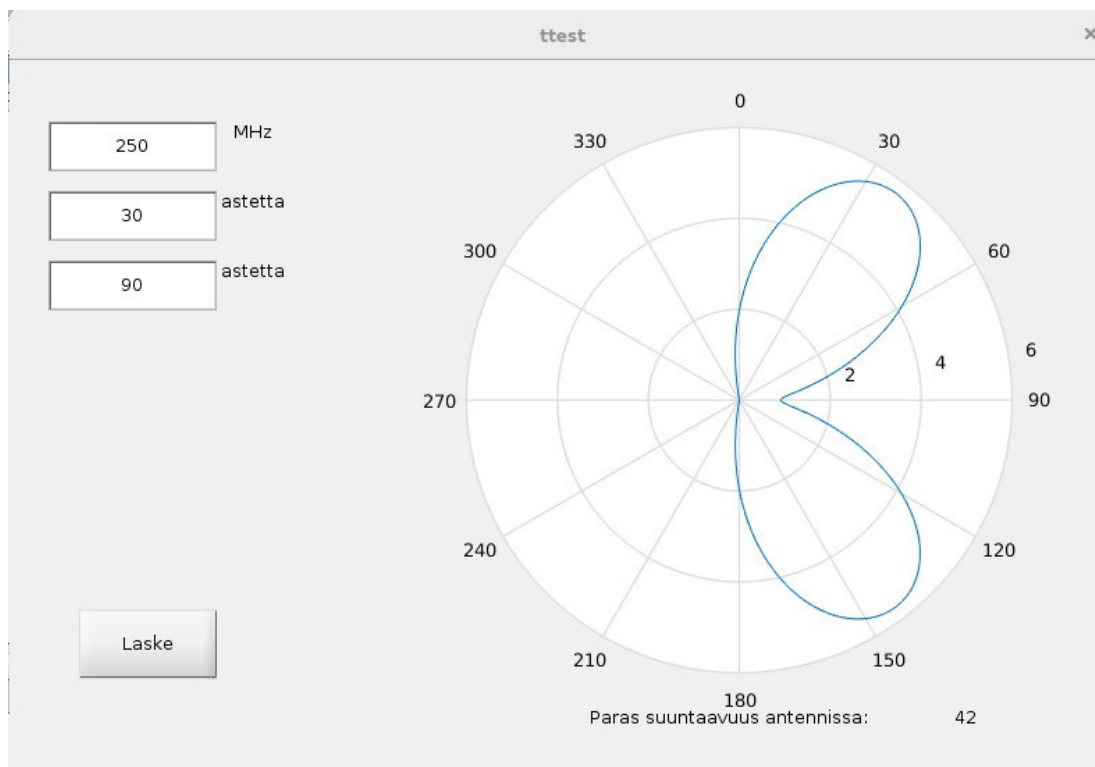
## Lähteet

- 1 Kosola, Jyri - Solante, Tero. 2013. Digitaalinen taistelukenttä. Helsinki. Maanpuolustuskorkeakoulu
- 2 Carr, Joseph. 2001. Practical Antenna Handbook. New York. McGraw-Hill
- 3 Sihvola, Ari - Lindell, Ismo. 1996. Sähkömagneettinen Kenttäteoria, 2. Dynaamiset kentät. Helsinki. Otatieto
- 4 Antenna Handbook, 2001, U.S. Marine Corps. Quantico. Verkkodokumentti. <http://www.zerobeat.net/r3403c.pdf>. Luettu 19.4.2016.
- 5 Progress In Electromagnetics Reserch B, Vol. 54, 167-184, 2013, Perspectives of Half Loop Antennas for Stealth Combat Ships. Verkkodokumentti. <http://www.jpier.org/PIERB/pierb54/09.13050201.pdf>. Luettu 19.4.2016.
- 6 Yerger, Alfred. Antenna Location is not an Architectural Decision. Verkkodokumentti. [http://birdrf.co.kr/down/app\\_whi/01.Antenna-Location-Is-Not-An-Architectural-Decision.pdf](http://birdrf.co.kr/down/app_whi/01.Antenna-Location-Is-Not-An-Architectural-Decision.pdf). Luettu 19.4.2016.
- 7 Solar Terrestrial Dispatch. Near-Real-Time MUF Map. Verkkosivu. <http://www.spacew.com/www/realtime.php>. Luettu 27.10.2015.
- 8 Cobham Antenna Systems. Wide Bandwith (>24kHz) HF Antenna for Vehicles on the Move. Verkkodokumentti. [http://www.hfindustry.com/meetings\\_presentations/presentation\\_materials/2014\\_sept\\_hfia/presentations/4-HFAnt.pdf](http://www.hfindustry.com/meetings_presentations/presentation_materials/2014_sept_hfia/presentations/4-HFAnt.pdf). Luettu 27.4.2016.
- 9 Cobham Antenna Systems. Towel Rail Antenna Arrays. Verkkodokumentti. <https://www.cobham.com/media/660326/Towel%20Rail%20Antennas%20Issue%201.pdf>. Luettu 11.1.2016
- 10 Noise in Antennas. Verkkodokumentti. [http://web.stanford.edu/class/ee252/handouts/antenna\\_noise.pdf](http://web.stanford.edu/class/ee252/handouts/antenna_noise.pdf). Luettu 19.4.2016
- 11 Radiolinkijärjestelmät, Nokia MetroHopper 56 GHz, Laboratoriotyön teoriaosuus. Verkkodokumentti. [http://www.comlab.hut.fi/studies/3250/RadioLink/RadioLink\\_Theor\\_fi.pdf](http://www.comlab.hut.fi/studies/3250/RadioLink/RadioLink_Theor_fi.pdf) Luettu 19.4.2016
- 12 Gonschorek, Karl-Heinz – Vick, Ralf. 2009. Electromagnetic Compability for Device Desing and System Integration. London. Springer
- 13 Aerial Oy. Verkkodokumentti. [http://aerial.fi/wp-content/uploads/2014/08/aerial\\_lpd.pdf](http://aerial.fi/wp-content/uploads/2014/08/aerial_lpd.pdf). Luettu 19.4.2016

- 14 Dasto. Verkkodokumentti.  
[http://dasto.com/broadcasting\\_antennas/files\\_pdf/VHF%20III%20Panel%20antenna%20174%20-%20230%20MHz.pdf](http://dasto.com/broadcasting_antennas/files_pdf/VHF%20III%20Panel%20antenna%20174%20-%20230%20MHz.pdf). Luettu 19.4.2016.
- 15 Comrod. Verkkodokumentti. <http://www.comrod.com/getfile.php/Datasheets/T%20ACS%20INTAS/ACS-001.pdf>. Luettu 19.4.2016.
- 16 Comrod. Verkkodokumentti. <http://www.comrod.com/getfile.php/Datasheets/T%20ACS%20INTAS/ACS007K.pdf>. Luettu 19.4.2016.

**MATLAB-sovellus suuntakuvioiden mallintamiseen**

Antennivalintatyökalu on tehty helpottamaan operaattorin toimintaa auttamalla hahmottamaan kulloinkin parhaan antennin halutulle suunnalle. Ohjelma laskee tekstitiedostoihin operaattorin syöttämän taajuuden suuntakuvioiden ja piirtää syötetylle suunnalle suuntakuvioiden. Esimerkki käyttöliittymästä on kuvassa 1.



*Kuva 1. Antennivalintatyökalun käyttöliittymä.*

Käyttöliittymä on toteutettu käyttäen Matlab GUI -kehitystyökalua. Käyttöliittymästä on tehty myös python-sovellus, joka käyttää hyväksi Matlab-työkalulla luotuja suuntakuviotiedostoja. Python-sovelluksessa on käytetty matplotlib-kirjastoa.

Matlab ohjelman lähdekoodi:

**main.m**

```
clear all
close all
suuntakuvio_1=(0:1:360);
ttest
```

## suuntaavuus.m

```
function suuntaavuus = suuntaavuus(f,aloytusSuunta,LopetusSuunta)

% Suuntaavuusfunktio laskee suuntakuviot ja tallentaa ne cache
% -tiedostoihin. Funktio palauttaa suuntaavuus matriisin, jonka neljässä
% alkiossa on antennien suuntaavuudet halutuille suunnille.
% Funktion syöttäarvot ovat:
% f, taajuus MHz
% aloitusSuunta, suunta, josta halutaan aloittaa suuntaavuuden laskeminen
% LopetusSuunta, suunta, johon halutaan lopettaa suuntaavuuden laskeminen
% Funktio vaatii toimiakseen suuntakuviuio.m -funktion
%
% Visa Forsby 1.3.2016
% Metropolia AMK
% visa@forsby.net

% Pistetaajuus jolle yhteys lasketaan [Hz].
% Taajuus saadaan suoraan UI:lta.
f = f*1e6;

% Aloitussuunta josta halutaan vastaanottaa [asettta].
% Aloitussuunta saadaan suoraan UI:lta.
suunta_aloytus = aloitusSuunta;

% Lopetussuunta jonne halutaan vastaanottaa [astetta].
% Lopetussuunta saadaan suoraan UI:lta.
suunta_lopetus = LopetusSuunta;

% Oteaan kompassisuunta käyttöön [true/false].
% Tieto suoraan UI:lta
%suuntima = 1;

% Luodaan suuntaavuusmuuttuja
suuntaavuus{4} = 1;

% Jos halutaan laskea kohteen paikkatiedolla paras antenni [asteet ja
% kymmenykset] [true/false]
% Paikka saadaan suoraan UI:lta
%paikkaan = 1.00000;
%paikka = 0;

% Lasketaan suuntakuviot ja suuntaavuus saaduilla tiedoilla
% Tarkistetaan onko väliaikaistiedosto suuntakuviuille olemassa
% ja tarvittaessa luodaan se.
k = 5;
while k > 1
    k = k-1;
    filename = sprintf('cache_%d',k);
    if fopen(filename,'r') < 0
        fopen(filename,'w');
    end
end
end
```

```

% Lasketaan tai haetaan muistista jokaisen antennin suuntakuvion alkio ja
% lasketaan suuntaavuus käyttäjän antamalle suunnalle.
% Valitaan paras suuntaavuus.
% Suuntaavuus lasketaan jokaiselle antennille erikseen. Tällä pyritään
% mahdollistamaan mitattujen suuntaavuustulosten lisääminen taulukkoon
% antennikohtaisesti.

m = 5;
while m > 1
    m = m-1;

    % Annetaan tiedoston nimi
    filename_s = sprintf('cache_%d',m);

    % Avataan tiedosto lukutilaan
    fileID = fopen(filename_s,'r');

    % Haetaan tiedostosta taajuudet, eli ensimmäinen sarake
    cache_taajuudet_cell = textscan(fileID,'%f %*[\n]');
    fclose(fileID);
    cache_taajuudet = cell2mat(cache_taajuudet_cell);

    % Tarkastetaan onko haluttu taajuus tallennettu aikaisemmin
    n = numel(cache_taajuudet) + 1;
    while n > 1
        n = n-1;
        if cache_taajuudet(n) == f
            fileID = fopen(filename_s,'r');
            cache_suuntakuvi_cell = textscan(fileID, '%s %[\n]', 1, 'HeaderLines', n-1);
            cache_suuntakuvi_str = cell2mat(cache_suuntakuvi_cell{2});
            cache_suuntakuvi = str2num(cache_suuntakuvi_str);
            fclose(fileID);
        end
    end

    % Jos suuntakuviota ei löytynyt aiemmin lasketuista, se lasketaan
    % ja lisätään taulukon loppuun.
    if exist('cache_suuntakuvi') == 0
        suuntakuvi_taajuudella = suuntakuvi(f,m);
        cache_suuntakuvi = suuntakuvi_taajuudella(2:362);
        fileID = fopen(filename_s,'a');
        fprintf(fileID,'%f\t',suuntakuvi_taajuudella);
        fprintf(fileID,'\n');
        fclose(fileID);
    end

    % Lasketaan tapauksen suuntaavuus
    if suunta_aloitus < suunta_lopetus
        suuntaavuus{m} = max(cache_suuntakuvi)/
        ((sum(cache_suuntakuvi(suunta_aloitus:suunta_lopetus))));
    else
        suuntaavuus{m} = max(cache_suuntakuvi)/
        ((sum([cache_suuntakuvi(suunta_aloitus:361) cache_suuntakuvi(1:suunta_lopetus)])));
    end

    % Tehdään suuntaavuuksista globaali
    assignin('base','suuntaavuus',suuntaavuus);

    % Siivotaan suuntakuviarvot ennen seuraavaa kierrosta.
    clear cache_suuntakuvi

```

end

```
% Luodaan suuntakuvio GUI:lle
% Otetaan suuntaavuus huomioon ja avataan sen perusteella cache tiedosto.
% Avatusta suuntakuvioista tehdään globaali muuttuja.
suuntaavuus_mat = cell2mat(suuntaavuus);
suurin = find(suuntaavuus_mat==(max(max(suuntaavuus_mat))));
assignin('base','suurin',suurin);
filename_s_p = sprintf('cache_%d',suurin);
fileIDp = fopen(filename_s_p,'r');
cache_taajuudet_cell_p = textscan(fileIDp,'%f %*[\n]');
fclose(fileIDp);
cache_taajuudet_p = cell2mat(cache_taajuudet_cell_p);
n = numel(cache_taajuudet_p) + 1;
while n > 1
    n = n-1;
    if cache_taajuudet_p(n) == f
        fileIDp = fopen(filename_s_p,'r');
        suuntakuvio_p_cell = textscan(fileIDp, '%s %*[\n]', 1, 'HeaderLines', n-1);
        suuntakuvio_p_str = cell2mat(suuntakuvio_p_cell{2});
        suuntakuvio_p = str2num(suuntakuvio_p_str);
        fclose(fileIDp);
    end
end
assignin('base','suuntakuvio_p',suuntakuvio_p);
```

## suuntakuvio.m

```
function suuntakuvio = suuntakuvio(f,m)

% Suuntaavuus funktiolla lasketaan antennin suuntaavuus haluttuun suuntaan.
% Funktiolle annetaan alkuarvo (>0) ja loppuarvo sekä taajuus. Funktio luo
% antennista ja mastorakenteesta mallin, jonka pohjalta luodaan
% suuntaavuus.

% Otetaan huomioon mille antennille suuntakuviota lasketaan ja käännetään
% mallia sen mukaisesti.
switch m
    case 1
        suunta = 90;
    case 2
        suunta = 180;
    case 3
        suunta = 270;
    case 4
        suunta = 0;
end

% Antennin luominen
% R&S HK014 paras sovitus on taajuudella ~370 MHz
% Oletetaan, että antennin pituus on 370 MHz aallonpituuden puolikas
% Oletetaan, että antennin paksuus on 7 cm.
hk014 = dipole('Length',70e-2, 'Width', 30e-3);

% Käytetty taajuus
taajuus = f

% Määritellään masto ja antenni
masto = reflector('GroundPlaneLength', 1.5, 'GroundPlaneWidth', 3, 'Exciter', hk014, 'Spacing',
0.52);
masto.Exciter.Tilt = 85;
masto.Exciter.TiltAxis = [1 0 0];
masto.TiltAxis = [0 1 0];
masto.Tilt = suunta;

% Määritetään antennin suuntakuvio
suuntakuvio_cache = patternElevation(masto,taajuus,[0]);
suuntakuvio = horzcat(taajuus,suuntakuvio_cache);
```



**ttest.m**

```

function varargout = ttest(varargin)
% TTEST MATLAB code for ttest.fig
% TTEST, by itself, creates a new TTEST or raises the existing
% singleton*.
%
% H = TTEST returns the handle to a new TTEST or the handle to
% the existing singleton*.
%
% TTEST('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in TTEST.M with the given input arguments.
%
% TTEST('Property','Value',...) creates a new TTEST or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before ttest_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to ttest_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help ttest

% Last Modified by GUIDE v2.5 24-Mar-2016 16:30:31

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @ttest_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @ttest_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before ttest is made visible.
function ttest_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to ttest (see VARARGIN)

vars = evalin('base','suuntakuvio_1');
theta = (0:0.01745:2*pi);
handles.suuntakuvio = vars;
%handles.current_data = handles.peaks;
polar(theta,max(0,handles.suuntakuvio));

```

```
view(90,-90)
```

```
% Choose default command line output for ttest  
handles.output = hObject;
```

```
% Update handles structure  
guidata(hObject, handles);
```

```
% UIWAIT makes ttest wait for user response (see UIRESUME)  
% uiwait(handles.figure1);
```

```
% --- Outputs from this function are returned to the command line.  
function varargout = ttest_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)  
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);  
% hObject handle to figure  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Get default command line output from handles structure  
varargout{1} = handles.output;
```

```
function editUserInput_f_Callback(hObject, eventdata, handles)  
userInput_f = str2double(get(handles.editUserInput_f,'String'));  
assignin('base','userInput_f',userInput_f);
```

```
% hObject handle to editUserInput_f (see GCBO)  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of editUserInput_f as text  
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of editUserInput_f as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.  
function editUserInput_f_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
% hObject handle to editUserInput_f (see GCBO)  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.  
% See ISPC and COMPUTER.  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function Aloitus_suunta_Callback(hObject, eventdata, handles)  
aloitusSuunta = str2double(get(handles.Aloitus_suunta,'String'));  
assignin('base','aloitusSuunta',aloitusSuunta);
```

```
% hObject handle to Aloitus_suunta (see GCBO)  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of Aloitus_suunta as text  
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of Aloitus_suunta as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Aloitus_suunta_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to Aloitus_suunta (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function lopetus_suunta_Callback(hObject, eventdata, handles)
LopetusSuunta = str2double(get(handles.lopetus_suunta,'String'));
assignin('base','LopetusSuunta',LopetusSuunta);

% hObject    handle to lopetus_suunta (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of lopetus_suunta as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of lopetus_suunta as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function lopetus_suunta_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to lopetus_suunta (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
% --- Executes on button press in userLaske.
function userLaske_Callback(hObject, eventdata, handles)
userInput_f = evalin('base','userInput_f');
aloitusSuunta = evalin('base','aloitusSuunta');
LopetusSuunta = evalin('base','LopetusSuunta');
suuntaavuus_gui = cell2mat(suuntaavuus(userInput_f,aloitusSuunta,LopetusSuunta));
[M,I] = max(suuntaavuus_gui);
assignin('base','I',I);
assignin('base','M',M);
```

```
switch I
    case 1
        antenni = 43;
    case 2
        antenni = 42;
    case 3
        antenni = 41;
    case 4
```

```

    antenni = 44;
end

set(handles.text7, 'String', num2str(antenni));

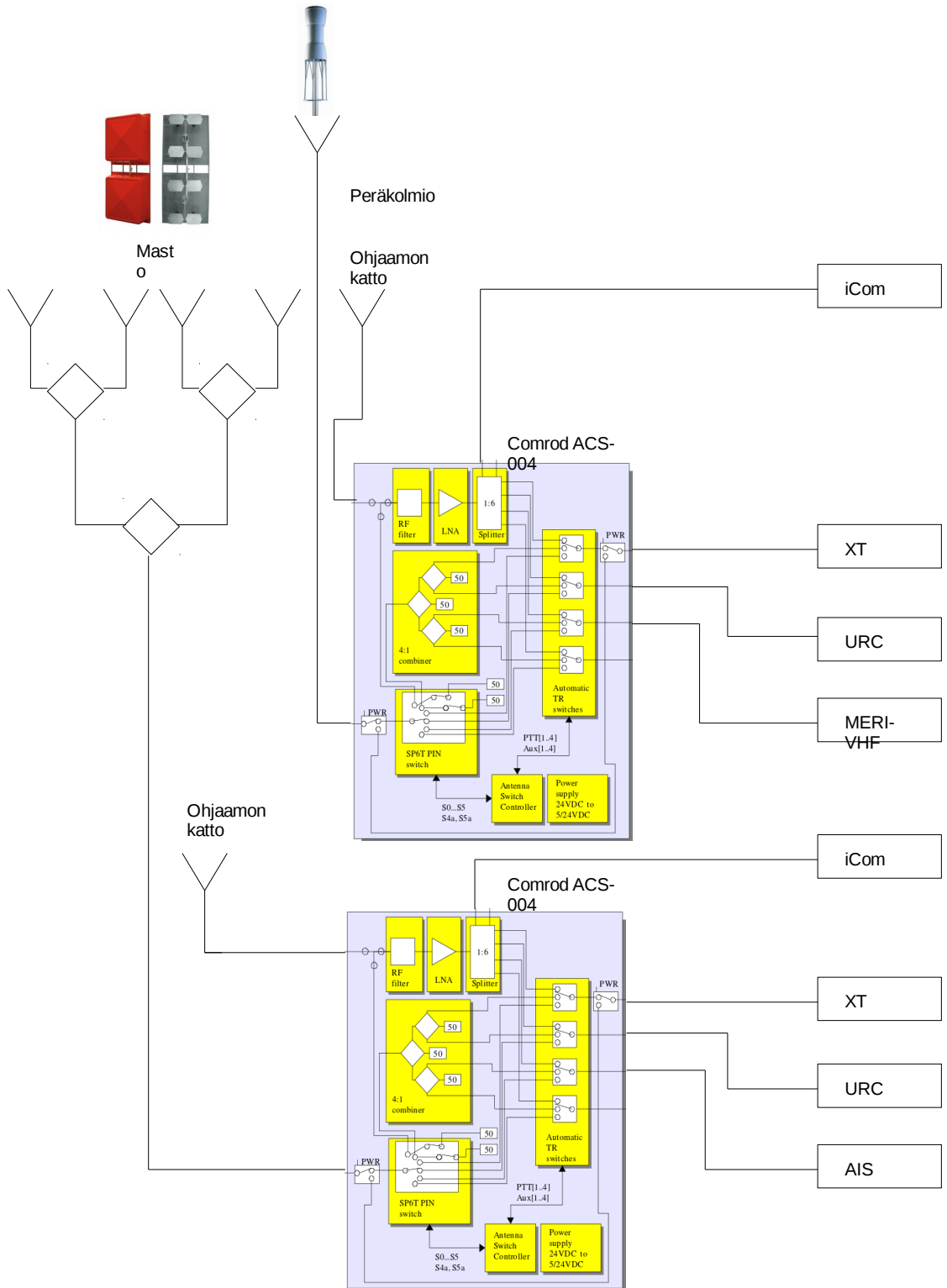
vars = evalin('base','suuntakuvio_p');
theta = (0:0.01745:2*pi);
handles.suuntakuvio = vars;
%handles.current_data = handles.peaks;
polar(theta,max(0,handles.suuntakuvio));
view(90,-90)

% hObject   handle to userLaske (see GCBO )
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on mouse press over axes background.
function axes1_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
vars = evalin('base','suuntakuvio_p');
theta = (0:0.01745:2*pi);
handles.suuntakuvio = vars;
%handles.current_data = handles.peaks;
polar(theta,max(0,handles.suuntakuvio));
view(90,-90)

```

### Periaatteellinen kytkentäkaavio Comrod ASC004:lle



KytKentäkuva määrittelee ainoastaan VHF/UHF-radioiden toimintaa. Icom-radiot ovat vastaanottimia, jotka vastaanottavat suoraan LNA:lta vahvistettua signaalia ohjaamon katolla sijaitsevista monitorointiantenneista. Kaksi VHF/UHF-radiota käyttävät peräkolmiossa sijaitsevaa R&S HK014-antennia. Vastaavalla tavalla toisella yksiköllä toimitaan mastoon sijoitettujen suunta-antennien kanssa. Suunta-antenneja ei voida valita yksittäisesti.

ACS-004 kytkee lähettävän radion suoraan antennille, mikäli lähetäviä radioita on yksi. Jos radioita on kaksi tai useampi, niin kytkentä antennille tapahtuu splitterin kautta. Tästä aiheutuu vaimennusta n. 7 dB. Vastaavasti alemmassa ACS-004:ssä vaimennus on aina 7 dB antennilinjan splittereistä johtuen, mikä osittain kompensoituu suunta-antennien paremmalla vahvistuksella. Alemman ACS-004:n osalta radioiden samanaikainen lähetys toimii samalla periaatteella ja kahden radion samanaikainen lähetys aiheuttaa 7 dB ylimääräistä vaimennusta.