

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**MASTON YMPÄRILLE ASENNETUN ANTENNIRYHMÄN
SÄTEILYKUVION LASKEMINEN**

**Työn tekijä: Ilkka Lehti
Työn valvoja: Antti Koivumäki**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Antti Koivumäki
yliopettaja**

ALKULAUSE

Tämä insinööriyö tehtiin Helsingin ammattikorkeakoulu Stadiassa. Haluan kiittää työn valvojaa yliopettaja Antti Koivumäkeä hyvistä neuvoista ja kärsivällisyydestä. Kiitän lämpimästi myös Jussi Alhorinnettä kieliasun tarkistuksesta ja Sonja Holappaa englanninkielisen tiivistelmän tarkistuksesta.

Helsingissä 7.5.2007

Ilkka Lehti

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Ilkka Lehti	
Työn nimi: Maston ympärille asennetun antenniryhmän säteilykuvion laskeminen	
Päivämäärä: 7.5.2007	Sivumäärä: 36 s. + 1 liite
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja: yliopettaja Antti Koivumäki, Helsingin ammattikorkeakoulu	
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli tehdä MATLAB-sovellus, jolla voidaan laskea ja tulostaa yleisradiotoiminnassa käytettävien dipolipaneeliantennien säteilykuvioita. Toinen tavoite oli saattaa tämän työn valvojan Antti Koivumäen vuoden 1980 diplomityön laskenta ja grafiikka modernimmalle tasolle.</p> <p>Aluksi työssä tarkasteltiin yleisiä asioita VHF- ja UHF-taajuuksien lähetystavoista ja lähettinantennityypeistä. Alussa käytiin läpi myös antennijoukon ja -ryhmän käsite.</p> <p>Seuraavaksi tutustuttiin tarkemmin lähettinantennien rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Antennien ominaisuuksista tarkasteltiin säteilykuvioita, suuntaavuutta, vahvistusta, hyötysuhdetta ja polarisaatiota. Näistä säteilykuvio oli tarkimman tutkinnan kohteena. Säteilykuvion laskeminen esitettiin kaavojen ja havainnoillistavien kuvien avulla.</p> <p>Lopuksi perehdyttiin antennin säteilykuvion laskemiseen tietokoneella, etenkin MATLABilla. Osuudessa tarkasteltiin graafisen käyttöliittymän tekemistä, laskennan suorittamista ja horisontaalisen säteilykuvion esittämistä graafisesti.</p> <p>Työn tuloksena saatiin tehdyksi MATLAB-sovellus, joka laskee elementtiantennin horisontaalisen säteilykuvion annettujen parametrien avulla ja tulostaa sen.</p>	
Avainsanat: Dipolipaneeliantenni, säteilykuvio, VHF, UHF, MATLAB	

ABSTRACT

Name: Ilkka Lehti	
Title: Calculating the Radiation Pattern of an Antenna Array Placed Around the Mast	
Date: 7 May 2007	Number of pages: 36 + 1 appendix
Department: Information Technology	Study Programme: Telecommunications
Instructor: Antti Koivumäki, Principal Lecturer, Helsinki Polytechnic	
<p>The aim of this final year thesis was to create a MATLAB application, which enables calculation and plotting of the radiation patterns of dipole panel antennas used in television and radio broadcasting. Another aim was to revise the computation and the graphics of the dissertation written in 1980 by Antti Koivumäki, the instructor of this final year thesis.</p> <p>This study is based on basic theories about the forms of transmission of VHF and UHF frequencies and the types of broadcast antennas. The concepts of antenna set and array were also examined to provide a solid background for this study.</p> <p>An important area to observe was the structure and the features of the broadcast antennas. The features included in this study comprised radiation pattern, directivity, gain, efficiency and polarization. The main focus was on the radiation pattern. The calculation of the radiation pattern was demonstrated through formulas and pictures.</p> <p>Finally, the calculation of the radiation pattern of an antenna with computer, especially with MATLAB, was carried out. The creation of the graphical user interface, computation and graphical presentation of the horizontal radiation pattern were also discussed.</p> <p>Based on the findings of this study, the MATLAB application was created, which calculates the horizontal radiation pattern of an element antenna by given parameters and plots it.</p>	
Keywords: Dipole panel antenna, Radiation pattern, VHF, UHF, MATLAB	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

LYHENTEET

1	JOHDANTO	1
2	YLEISRADIOTOIMINNAN VHF- JA UHF-TAAJUUDET	2
2.1	Taajuusjako ja lähetysverkko	2
2.2	VHF-alue	2
2.3	UHF-alue	3
3	VHF- JA UHF-LÄHETINANTENNYYPIT	5
3.1	Dipolipaneeliantennin rakenne	6
3.2	Ristiantenni	10
3.3	Kierukka-antenni	11
3.4	Kulkuaaltorakoantenni	12
4	ANTENNIJOUKOT JA –RYHMÄT	12
4.1	Antennijoukko	12
4.2	Antenniryhmä	12
5	LÄHETINANTENNIN SÄTEILYKUVIO, SUUNTAAVUUS, VAHVISTUS, HYÖTYSUHDE JA POLARISAATIO	13
5.1	Lähetinantennin säteilykuvio	13
5.1.1	<i>Yleistä</i>	13
5.1.2	<i>Horisontaalikuvio</i>	16
5.1.3	<i>Vertikaalikuvio</i>	18
5.2	Suuntaavuus, vahvistus ja hyötysuhde	19
5.3	Polarisaatio	19
6	DIPOLIPANEELIANTENNIN SÄTEILYKUVION LASKEMINEN	21

6.1	Laskemiseen tarvittavat tiedot	21
6.2	Yksinkertaistaminen tietokonelaskentaa varten	24
6.3	Horisontaali- ja vertikaalikuvion laskeminen	26
6.3.1	<i>Säännöllisyys</i>	26
6.3.2	<i>Horisontaalikuvion yhtälö</i>	27
6.3.3	<i>Vertikaalikuvion yhtälö</i>	28
7	LASKEMINEN MATLABILLA	28
7.1	MATLAB-ohjelma	28
7.2	Säteilykuvion laskeminen MATLABilla	29
7.2.1	<i>Graafisen käyttöliittymän tekeminen</i>	30
7.2.2	<i>Laskenta ja m-tiedostot</i>	31
7.2.3	<i>Säteilykuvion esitys graafisesti</i>	32
8	YHTEENVETO	33
	VIITELUETTELO	35
	LIITTEET	

LYHENTEET

DAB	Digital Audio Broadcasting
GUI	Graphical User Interface
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment
ITU	International Telecommunications Union
MATLAB	Matrix Laboratory, Interaktiivinen matriisilaskentaan ja muuhunkin numeeriseen soveltuva ohjelmisto
UHF	Ultra High Frequency
ULA	Ultralyhyet aallot
VHF	Very High Frequency

1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tavoitteena on tehdä MATLAB-sovellus, jolla voidaan laskea ja tulostaa yleisradiotoiminnassa käytettävien dipolipaneeliantennien säteilykuvioita. Työ perustuu suurelta osin työn valvojan yliopettaja Antti Koi-vumäen vuonna 1980 tekemään diplomityöhön. Lähtökohtana on saattaa tuon ajan laskenta ja grafiikka modernimmalle tasolle käyttämällä nykypäi-vän tehokkaampia tietokoneohjelmia.

Aluksi työssä käydään läpi yleisiä asioita yleisradiotoiminnan VHF- ja UHF-taajuuksien lähetystavoista, esitellään lähetinantennityyppejä ja selvitetään yleisellä tasolla antennin tärkeimpiä ominaisuuksia kuten säteilykuvioita, vahvistusta, suuntaavuutta, hyötysuhdetta ja polarisaatiota.

Tarkemman tutkinnan kohteena on dipolipaneeliantenni. Tavoitteena on perehtyä tämän antennin ominaisuuksiin, rakenteeseen ja säteilykuvioihin. Tässä kohdassa tutustutaan myös suurimpien valmistajien dipolipaneeliantenneihin, joita Suomessakin on käytössä Yleisradiolla.

Työssä selvitetään myös dipolipaneeliantennin säteilykuvion laskemiseen tarvittavat tiedot ja yhtälöt. Tarkoituksena on kuvien avulla havainnollistaa yhtälöissä esiintyvien eri muuttujien merkitys säteilykuvion synnyssä. Kaavojen johtamista ei tässä työssä käydä niin tarkasti läpi kuin lähdeoteksena käytetyssä diplomityössä.

Lopuksi on tarkoituksena tutkia säteilykuvion laskemista tietokoneella ja esitellä yleisesti MATLAB-ohjelmaa. MATLAB-ohjelmasta käsitellään hieman tarkemmin niitä osia, joita tässä työssä tarvitaan, muun muassa käyttöliittymää ja grafiikkaa.

2 YLEISRADIOTOIMINNAN VHF- JA UHF-TAAJUUDET

2.1 Taajuusjako ja lähetysverkko

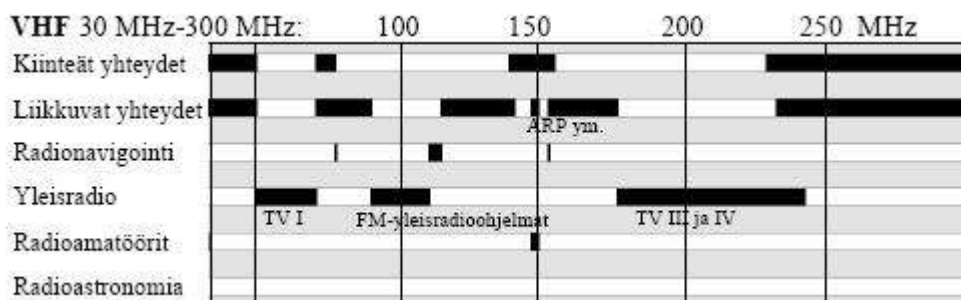
Koko yleisradiotoiminta perustuu sähkömagneettisen spektrin käyttöön. Ilmassa etenevät radioaallot ovat edellytys lähetystoiminnalle ja ohjelmatuotantokin käyttää jatkuvasti enemmän langatonta tekniikkaa. Radiotaajuudet ovat kansainvälisesti määriteltäviä, ja niitä valvoo ITU (International Telecommunication Union). Kansainväliseksi radiotaajuusspektri on määrätty alue 3 kHz:stä 60 GHz:iin asti. Taajuusjaot tarkastetaan kansainvälisissä taajuuskokouksissa. Yleisradiotoiminnassa ja tässä työssä oleelliset alueet ovat VHF- (Very High Frequency) ja UHF-taajuudet (Ultra High Frequency). [1.]

Suomessa Digita Oy vastaa valtakunnallisista lähetys- ja siirtoverkoista sekä radio- ja televisioasemista. Digita Oy välittää televisio-ohjelmat maanpäällisissä TV-verkoissa analogisesti ja digitaalisesti. Digitaalisen verkon väestöpeitto Suomessa on tällä hetkellä 99,9 %. Maanlaajuisessa lähetysverkossa on 38 pääasemaa, 167 alilähetinasemaa ja 40 ohjelmansiirron linkkiasemaa. Päälähetinasemien paikkakunnat ovat Anjalankoski, Espoo, Eurajoki, Fiskars, Haapavesi, Iisalmi, Inari, Joutseno, Jyväskylä, Karigasniemi, Kerimäki, Kiihtelysvaara, Koli, Kruunupyy, Kuopio, Kuttanen, Lahti, Lapua, Mikkeli, Oulu, Pernaja, Pihtipudas, Posio, Pyhätunturi, Pyhävuori, Rovaniemi, Ruka, Taivalkoski, Tammela, Tampere, Tervola, Turku, Utsjoki, Vaasa, Vuokatti, Vuotso, Ylläs ja Ähtäri. [2; 3.]

2.2 VHF-alue

VHF:n taajuusalue on 30-300 MHz. Siellä toimii ULA-radio (ultralyhyet aallot) ja osa analogisesta televisiosta. Alueelta on lisäksi varattu taajuuksia DAB-radiota (Digital Audio Broadcasting) varten. VHF-alue jaetaan kolmeen osaan, joista ensimmäisellä ja kolmannella on TV-lähetyksiä. Ensimmäisellä osalla ovat kanavat 2, 3 ja 4 taajuusalueella 47-68 MHz. Kolmannella osalla ovat kanavat 5-12 taajuusalueella 174-230 MHz. Kolmatta osaa on käytetty televisioimintaan koko televisiohistorian ajan. Keskimmäisellä osalla sijaitsevat ULA-lähetykset, jotka Suomessa ovat taajuusalueella 87,5–108 MHz. ULA-alueella lähetetään Yleisradio-ohjelmaa taajuusmoduloina. Siellä ei ole kanavapaikkoja. VHF-alueen kolmea sisäistä osaa merkitään roomalai-

silla numeroilla I, II ja III. Kuvassa 1 on havainnoillistettu VHF-taajuuksien jakoa eri toimijoille. [1.]



Kuva 1. VHF-taajuuksien jako [4.]

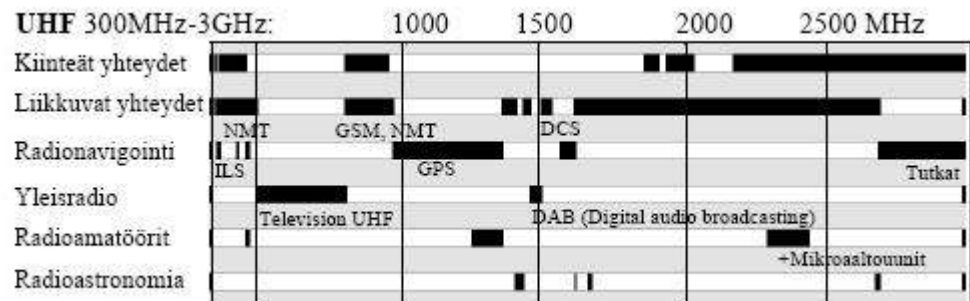
VHF-aaltojen eteneminen perustuu suoraan etenismekanismiin. Tällöin etenemistä hankaloittavat välissä olevat esteet, kuten maasto ja rakennukset. Myös maapallon kaarevuus aiheuttaa esteen VHF-aallolle. Tämän vuoksi täytyy signaalia lähettää korkeammalta. Säälläkin on merkitystä signaalin etenemisen kannalta, mutta sen vaikutuksen ennustaminen on vaikeaa nykytekniikallakin. [1.]

Radio- ja TV-toiminnan kannalta VHF-alue on varsin kelvollinen ja teknisesti hyvin hallittavissa. I-osa-alue on kuitenkin hyvin altis sähkölaitteiden aiheuttamille häiriöille ja siitä ollaan pikku hiljaa luopumassa televisiotoiminnan osalta. I-aluetta käyttää Suomessakin tällä hetkellä vain kaksi lähetinasemaa. Suomessa vuonna 2007 tapahtuva analogisten TV-lähetysten loppuminen vähentää VHF-alueen käyttöä televisiotoiminnan osalta, sillä digitaalisten lähetysten taajuudet kuuluvat alussa vain UHF-alueeseen. Jatkossa VHF:n III-alueelle on tarkoitus sijoittaa televisio- ja radiotoimintaa. Tämä tarkoittaisi siis uusia digitaalisia kanavanippuja. [1.]

2.3 UHF-alue

UHF:n taajuusalue on 300-3000 MHz. Tämän päivän televisiotoiminnan kannalta UHF-alue on tärkeämpi kuin VHF-alue, sillä digitaaliset TV-lähetykset lähetetään ainakin aluksi taajuuksilla 470-862 MHz. Tämä alue UHF-alueelta on varattu Yleisradiotoimintaan. Alue on jaettu kahteen osaan, jotka on nimetty IV- ja V-alueiksi. IV-alueella on TV-kanavat 21-60 ja V-alueella 61-69. UHF-alueella yli gigahertsin taajuuksia kutsutaan jo mikroaalloiksi. Siltä alueelta on yleisradiotoimintaan varattu vielä pieni osuus DAB:ia varten.

varten. DAB:ia ei kuitenkaan tulla näillä näkymin ottamaan Suomessa käyttöön. Kuvassa 2 on havainnoillistettu UHF-taajuuksien jakoa eri toimijoille. [1.]



Kuva 2. UHF-taajuuksien jako [4.]

UHF-alueen aallot käyttäytyvät hyvin valomaisesti korkean taajuutensa vuoksi. Eteneminen on näin ollen suoraviivaista. VHF:n tavoin UHF-aaltojen etenemistä haittaavat korkeat rakennukset ja kasvillisuus. Tämä johtaa siihen, että lähetysmaston on oltava melko korkea, muutama sata metriä. Yhdysvalloissa ja Japanissa on maailman korkeimmat lähetysantennit, n. 600 metriä. Onneksi aallonpituuden ollessa lyhyt voidaan vastaanottoantenneista tehdä käytännöllisen kokoisia. Tämä on johtanut siihen, että UHF-alueesta on tullut hyvin suosittu ja tungosta alueella on ongelmaksi asti. Myös ilmakehän ominaisuudet vaikuttavat UHF-aaltojen etenemiseen. Troposfäärissä tapahtuvat sääilmiöt voivat aiheuttaa ilmakehään pystysuuntaisen alueen, jossa taitekerroin muuttuu niin paljon, että radioaallon eteneminen toivottuun suuntaan ei täysin onnistu. Television katselu häiriintyy analogisissa lähetyksissä ja digitaalisissa lähetyksissä voi ruutu pimentyä täysin. Suomessa on tutkittu asiaa paljonkin, mutta viime aikoina tutkimus on alkanut hiipua. Nämä äärimmäiset tilanteet ovat tosin aika harvinaisia. Ehkä juuri siksi niiden tutkimiseen ei riitä rahoitusta ja ymmärrystä. [1.]

Matkapuhelinteollisuus on huomannut, että UHF-alue on kustannustehokas taajuusalue. Se haluaisi käyttää sitä enemmän omiin tuleviin matkapuhelinjärjestelmiin. Myös sotilaallisilla tahoilla on halua saada lisää taajuuksia UHF-alueelta muun muassa ilmavalvontaan. Televisiotoiminta on kuitenkin tässä vahvoilla pitkän historiansa ansiosta. [1.]

3 VHF- JA UHF-LÄHETINANTENNTYYPI

Lähetinantennityyppejä VHF- ja UHF-taajuusalueella ovat dipolipaneeli-, risti-, kierukka- ja kulkuaaltorakoantenni. Mastossa on yleensä kolme antennia yleisradiotoimintaa varten. Tämä johtuu siitä, että ULA-radiotaajuudet sekä VHF- ja UHF-TV-signaalit vaativat omat antenninsa. VHF- ja ULA-antennit kootaan yleensä erillisistä elementeistä, joista muodostuu dipolipaneeliantenneja. Mastossa niitä korkeammalle etenemisluonteensa vuoksi sijoitetaan UHF-antenni, jona voidaan käyttää ristianentenniäkin. Kierukka- ja kulkuaaltorakoantennin käyttö yleisradiotoiminnassa on harvinaisempaa. Tässä työssä perehdytäänkin enemmän dipolipaneeliantenniin, jolla jatkossa suoritetaan laskelmiakin. [5, s. 10.]

Kuvassa 3 on nykypäivän tyypillinen TV- ja radiomasto. Suomessa Yleisradion käytössä on yhden maailman johtaviin kuuluvan antennivalmistajan saksalaisen Kathreinin VHF- ja UHF-lähetinantenneja. Suomeen ja muihin Pohjoismaihin alettiin toimittaa Kathreinin antenneja 1960-luvulla, kun niiden sääkestävyys todettiin hyväksi. Lumiset ja jäiset sääolosuhteet asettavat korkeille mastoille omia vaatimuksiaan, joihin Kathrein oli oppinut vastaamaan Keski-Euroopan Alpeilla. [6.]



Kuva 3. Rukan lähetysasema [7.]

3.1 Dipolipaneeliantennin rakenne

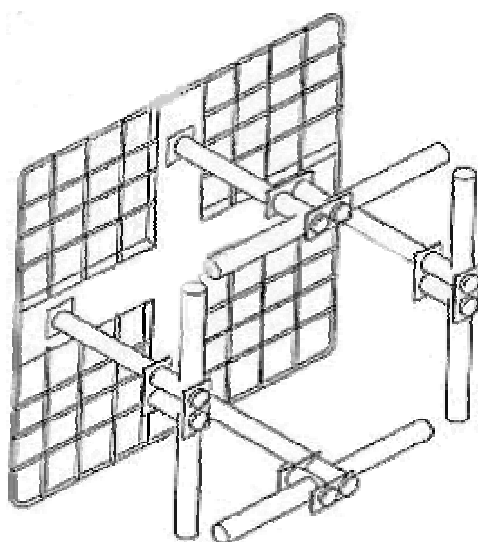
Yleisradiotoiminnassa lähetinantennit koostuvat päällekkäin olevista tasoista, joissa on yleensä kolme tai neljä elementtiä. Tasoja on 1-16 kappaletta. Dipolipaneeliantennin elementti koostuu johtavan tason eteen asetetuista dipoleista. Yhdessä elementissä on yleensä yksi, kaksi tai neljä dipolia. Dipolien pituus riippuu aallonpituudesta. Pituus valitaan väliltä $\lambda/2 \dots \lambda$. Dipolien pituudet ovat tällöin VHF- ja UHF-taajuusalueella luokkaa 0,2-1,5 m. Dipolien etäisyys heijastavasta tasosta on noin neljäsosa aallonpituudesta ja etäisyys toisistaan välillä $\lambda/2 \dots \lambda$. [5, s. 10.]

Dipolipaneeliantenni on laajakaistainen antenni, mikä tarkoittaa sitä, että samaa antennia voidaan käyttää useamman kuin kahden kanavan lähettämiseen. VHF-alueella seisovan aallon suhteen pitäminen alhaisena on helpompaa kuin UHF-alueella. UHF-alueelle voidaan myös valmistaa tyydyttävästi toimivia dipolipaneelielementtejä, jos dipoli ja elementin sisäinen syöttö suunnitellaan hyvin. [5, s. 14.]

Kuvassa 4 on esimerkki kolmielementtisestä VHF II-alueen dipolipaneeliantennista ja kuvassa 5 on tarkempi kuva nelidipolisesta ympyräpolaroidusta elementistä. Kuvassa 5 pysty- ja vaakasuorassa olevia dipoleja voidaan syöttää 90 asteen vaihe-erolla, jolloin saadaan aikaan ympyräpolaroitu kenttä. [5, s. 12.]

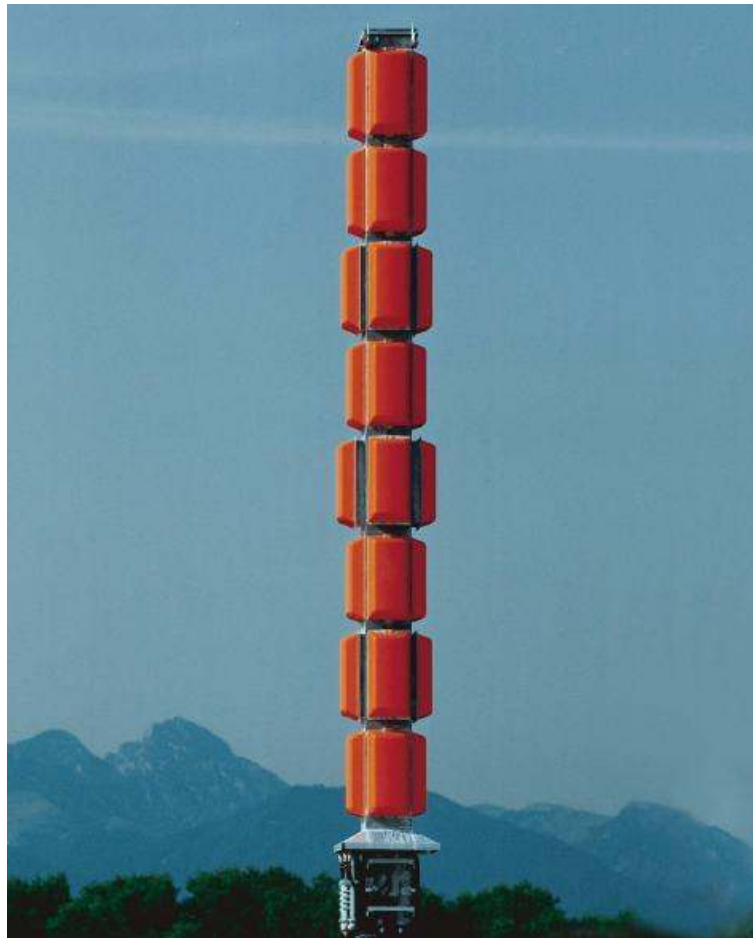


Kuva 4. Ympyräpolaroitu dipolipaneeliantenni (Jampro) [8.]



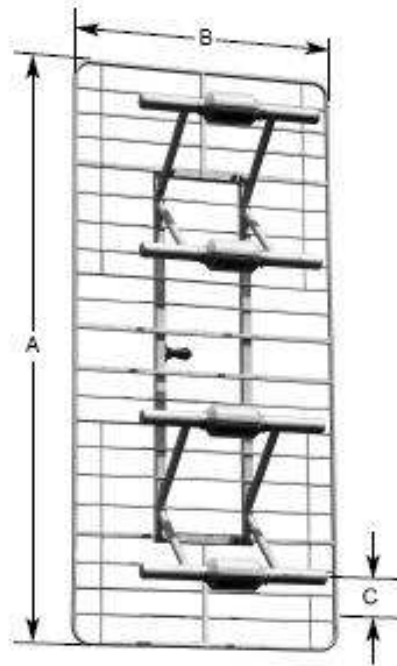
Kuva 5. ULA-alueen, eli VHF II-alueen dipolipaneelielementti (Jampro) [8.]

Kuvassa 6 on esimerkki siitä, miltä maston huipun UHF-alueen dipolipaneeliantennit voivat näyttää. Kuvan kokoonpanolla on ilman kiinnikkeitä painoa hieman yli 400 kg. Korkeus on noin 9 metriä, ja oranssi väri toimii varoitusvärinä. Elementtien määrällä ja suunnilla vaikutetaan antennin suuntaavuuteen. Polarisaatio voidaan valita tarpeen mukaan. Suomessa käytetään usein vaakapolarisaatiota, koska on havaittu, että pystypolarisaatiota käytettäessä voi vastaanotossa ilmetä vaikeuksia Suomen metsäisen maaston vuoksi. [5, s. 12 - 13; 9.]



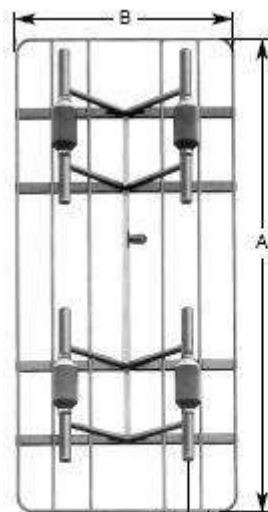
Kuva 6. UHF-alueen dipolipaneeliantennit maston huipussa (Kathrein) [9.]

Kuvissa 7 ja 8 on esimerkit vaak- ja pystypolarisaation vaikutuksesta dipolipaneelielementtiin. Polarisaatiosta ja muista antennien ominaisuuksista kerrotaan tarkemmin luvussa 5.



A: 2800 mm
 B: 1300 mm
 C: 415 mm

Kuva 7. VHF III-alueen horisontaalipolaroitu nelidipolinen elementti (Kathrein) [9.]



A: 2800 mm
 B: 1300 mm
 C: 400 mm

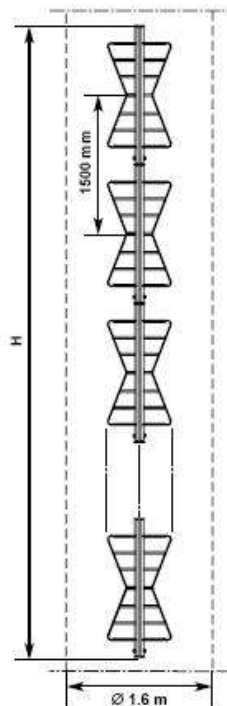
Kuva 8. VHF III-alueen vertikaalipolaroitu nelidipolinen elementti (Kathrein) [9.]

3.2 Ristiantenni

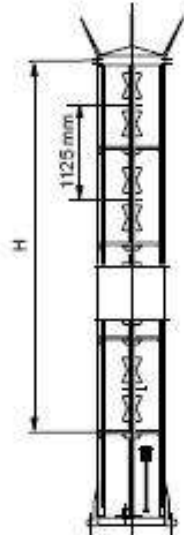
Yleisradiotoiminnassa ristiantennia käytetään siis vähemmän kuin dipolipaneeliantennia. Syy tähän löytyy antennien mastoon sijoittelusta. Ristiantennin hyvän säteilykuvion ehtona on ohut tukimasto, jolloin se voidaan yleensä sijoittaa vain maston huipulle. [5, s. 18 - 19.]

Ristiantennissa päällekkäin ja ristikkäin olevat dipolit muodostavat antennin. Dipolit voivat olla sauva-, taitto- tai siipidipoleja, joista ensin mainitut ovat yleisimpiä. Siipidipolien etu muihin dipoleihin verrattuna on se, että niistä saadaan helpommin laajakaistaisia. Kuvissa 9 ja 10 on esimerkkejä siipidipolien, eli niin sanottujen perhosantennien käytöstä. Kuvassa 9 on VHF III-alueen ristiantenneja, jotka ovat horisontaalipolarisoituja. Antennit suojataan monesti sylinterillä. Kahdeksantasoinen kuvan 9 Kathreinin Superturnstile-antenni painaisi ilman sylinteriä vajaa 700 kg, eli noin 300 kg enemmän kuin vastaavan kokoinen dipolipaneeliantenni. [5, s. 18; 9.]

Ristiantennin kaapelointi on yksinkertaisempaa kuin dipolipaneeliantennilla, sillä yhdessä antennitasossa on vain yksi ristidipolielementti. Dipolipaneeliantennissa yhdessä antennitasossa tarvitaan vastaavasti kolme tai neljä elementtiä. [5, s. 19.]

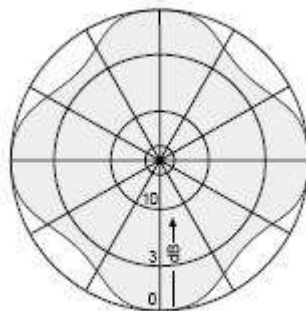


Kuva 9. VHF III-alueen ristiantenneja sylinterin sisällä [9.]



Kuva 10. UHF-alueen ristiantenneja lasikuitusylinterin sisällä [9.]

Kuvan 10 Kathreinin Superturnstile-antenni on suunniteltu UHF-alueelle ja sitä suojataan lasikuitusylinterillä. Sen säteilykuvio on erityisen hyvä horisontaalipolarisaatiolla. Säteilykuvio kertoo kentän voimakkuuksista eri ilmansuuntiin. Kuvassa 11 on esimerkki tyypillisestä ristianennin horisontaalisesta säteilykuvioista. Luvuissa 5 ja 6 perehdytään tarkemmin säteilykuvion teoriaan. [9.]



Kuva 11. Tyypillinen ristianennin horisontaalisäteilykuvio (Kathrein) [9.]

3.3 Kierukka-antenni

Kierukka-antenni kuuluu kulkuaaltoantenneihin. Kierukka-antenni muodostuu johtimesta, joka on kierretty johtavan sylinterin, eli tässä tapauksessa mas-

ton, ympärille. Pitkässä antennissa voidaan käyttää useampia kierukoita. Kierukan symmetrisyydestä johtuen sen horisontaalinen säteilykuvio on teoriassa täysin pyöreä, mutta sitä voidaan tarvittaessa muokata kierrosten väliin asetetuilla putkilla. [5, s. 19.]

3.4 Kulkuaaltorakoantenni

Kulkuaaltorakoantenni kuuluu aukkosäteilijöihin. Kulkuaaltorakoantenni on koaksiaalijohto, jonka ulkovaippaan on tehty säteilijöinä toimivia rakoja. Rakoihin saadaan teho niihin kytkettävillä kondensaattoreilla. Horisontaalisesta säteilykuvioista tulee käytännössä ympyrä, jos antennin halkaisija on pieni. Vertikaalikuvioita voidaan muotoilla enemmän, mutta se on hyvin herkkä taajuuden muutoksille. Tämän ja kapeakaistaisuuden vuoksi kulkuaaltorakoantenni toimii vain yhdellä kanavalla kerrallaan. [5, s. 20.]

4 ANTENNIJOUKOT JA –RYHMÄT

4.1 Antennijoukko

Antennijoukolla tarkoitetaan vähintään kahden samanlaisen antennin muodostamaa kokonaisuutta, jonka elementtejä käytetään samaan lähetys- tai vastaanottotarkoitukseen. Antennijoukon kenttävoimakkuus on jokaisen elementin aiheuttaman kenttävoimakkuuden summa. [5, s. 6.]

4.2 Antenniryhmä

Antenniryhmällä tarkoitetaan antennijoukkoa, jonka samanlaiset elementti-antennit toteuttavat tietyn ehdon. Käytännössä tarkoitetaan sellaista antennijoukkoa, jonka elementit ovat suunnattu samalla tavalla. Tarkalleen ottaen se ei riitä, sillä elementteihin indusoituneiden virtojen täytyy olla translaatio-suhteessa toisiinsa, jotta joukkoa voidaan kutsua ryhmäksi. Ryhmäkäsitetä käytetään tosin likimääräisesti. Lineaarinen antenniryhmä on sellainen ryhmä, jonka elementit sijaitsevat samalla suoralla ja ovat myös suunnattu samaan suuntaan. Tässä työssä käsitellään lineaarista antenniryhmää. Yhteisenä suorana toimii antennimasto. [10, s. 101 - 102.]

Antenniryhmän säteilyominaisuudet perustuvat antennielementtien suureen määrään. Tämän vuoksi voivat elementit olla hyvinkin yksinkertaisia. Ryh-

män säteilykeilan muuttaminenkin tapahtuu sähköisesti, eikä vaadi liikkuvia ja samalla kuluvia osia. Vaiheistuksen muutoksilla puolestaan voidaan saada aikaan monia samanaikaisia säteilykeiloja, jotka voivat toimia toisistaan riippumatta. [10, s. 101.]

5 LÄHETINANTENNIN SÄTEILYKUVIO, SUUNTAUVUUS, VAHVISTUS, HYÖTYSUHDE JA POLARISAATIO

5.1 Lähetinantennin säteilykuvio

5.1.1 Yleistä

Yleisradiotoiminnassa tärkeää on, että kaikille katselijoille ja kuuntelijoille pyritään antamaan mahdollisuus häiriöttömään lähetyksen vastaanottoon. Yleisradio onkin laatinut normit vaadituille kentänvoimakkuuksille VHF- ja UHF-alueella. Normit perustuvat ITU:n suosituksiin ja niiden pitäisi taata vähintään tyydyttävä kuva ja ääni jokaiseen normaaliin vastaanottimeen. [5, s.21.]

Säteilykuvio (tai suuntakuvio) on sekä lähettävällä että vastaanottavalla antennilla. Säteilykuvio on ymmärrettävissä helpommin, kun ajattelee juuri lähettävää antennia. Lähettävän antennin säteilykuvio kertoo antennin säteilemän signaalin tehon jakautumisen avaruuden eri suuntien kesken. Säteilykuvion esitystapoja on erilaisia, mutta kaikille on yhteistä se, että säteilykuvio ilmoittaa suhteellisia kentänvoimakkuusarvoja eli desibeliarvoja. [11.]

Antennin säteilykuvio ilmoittaa suhteellisen kentänvoimakkuuden suunnan funktiona, ja yleensä se normalisoidaan siten, että maksimiarvo on 1, eli 0 dB, kun säteilykuvio esitetään desibeliarvoina. Tehosäteilykuvio taas ilmoittaa antennin avaruuteen säteilemän tehon jakautumisen. Yleisradiotoiminnassa tutkittavat säteilykuviot ovat horisontaali- ja vertikaalikuviot. Niitä tulaa tutkimaan tässäkin työssä. [5, s. 5.]

Kentänvoimakkuudella tässä työssä tarkoitetaan suoraan lähetinantennista vastaanottimeen edennyttä sähkökentän voimakkuutta. Maastosta ja rakennuksista heijastuneiden signaalien vuoksi todellisuudessa kentänvoimakkuus voi olla suurempi. Tämä ei kuitenkaan paranna, vaan ennemminkin

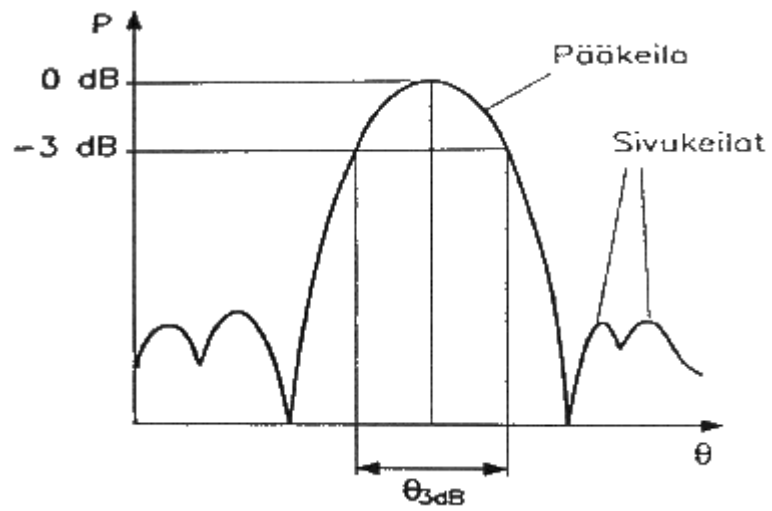
häiritsee vastaanottoa. TV-kuvaan voi tulla "haamukuvia" ja ULA-radion kuuntelu voi häiriintyä. [5, s. 22.]

Tietyn alueen kentänvoimakkuuteen vaikuttavat alueen etäisyys lähettimestä, lähettimen teho, antennin säteilykuvio ja hyötysuhde, maasto sekä ilmasto. Muutaman sadan metrin korkeudessa olevan lähetinantennin ja lähes maanpinnalla olevan vastaanotinantennin välinen ilmakehän ja maanpinnan vaimennus on melko suuri verrattuna vapaan tilan etenemiseen. Vaimennuksen ollessa suuri vain lähetinantennin teho ratkaisee. Siksi tässä työssä voidaan olettaa etenemisen tapahtuvan vapaassa tilassa. [5, s. 23.]

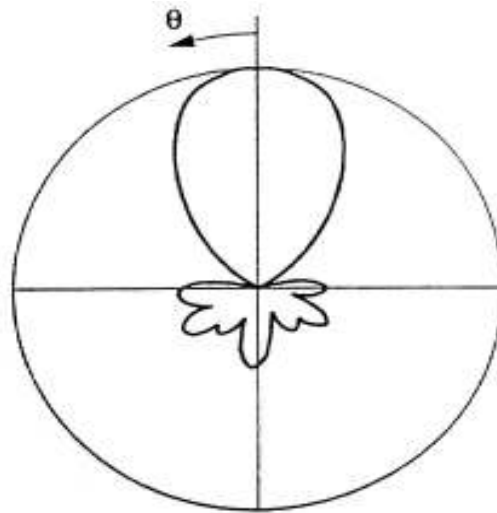
Antennia suunniteltaessa säteilykuvio on yksi tärkeimpiä perusteita. Antennin on oltava yleensä joko ympärisäteilevä, suuntaava tai sen säteilykuvion tulee olla muotoiltu. Ympärisäteilevää antennia voidaan tarvita yleisradiotoiminnassa, suuntaavaa antennia linkkiantennina ja muotoiltua kuviota esimerkiksi satelliittiantennissa, jonka tarkoitus on peittää jokin tietty alue. [12, s. 155.]

Yleisradiotoiminnassa lähetinantennin kohdealue valitaan kahdella tavalla. Lähettimen ympäristö pyritään peittämään joka suuntaan mahdollisimman hyvin tai sitten vain johonkin tiettyyn suuntaan halutaan lähettää signaalia. Lähellä valtion rajaa tai sellaista aluetta, jonne ei haluta ohjelmaa lähettää, käytetään suunnattua lähetystapaa. Syinä tähän voivat olla asumattomat alueet tai toisen lähettimen kuuluvuusalueen häiriintyminen. [5, s. 23.]

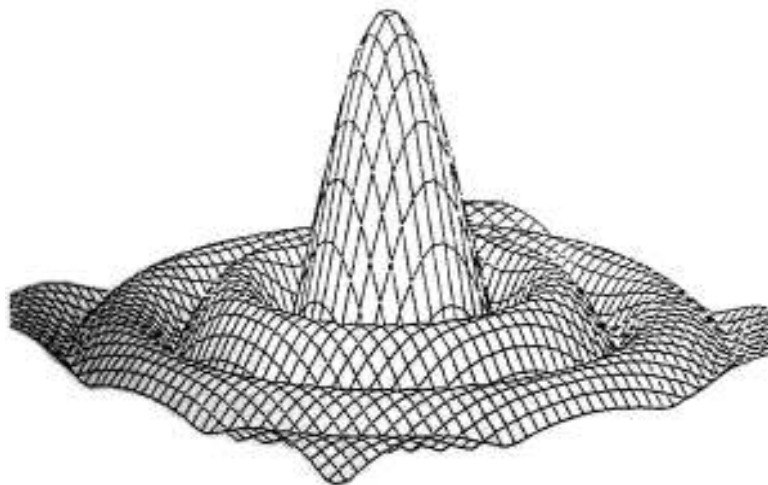
Kun antenni asennetaan säteilemään voimakkaasti vain johonkin tiettyyn suuntaan, säteilykuviossa on selvästi erottuva pääkeila. Sen lisäksi kuviossa näkyy heikommat maksimikohdat eli sivukeilat. Tällaisesta kuviosta nähdään myös pääkeilan suunta, puolen tehon keilanleveys ja kentän nollakohtien sijainnit. Kuvassa 12 on esimerkki edellä mainitusta säteilykuvioista. Kuvissa 13-15 nähdään esimerkkejä säteilykuvion muista esitystavoista. Kuvan 12 suorakulmainen ja kuvan 13 polaarinen koordinaatisto ovat yleisimmät ja selkeimmät esitystavat säteilykuvioille. Kuvan 14 kolmiulotteisesta kuviosta on vaikea tutkia lukuarvoja ja kuvan 15 vakioarvokäyrästä käytetään hyvin harvoin. Tässä työssä tarkasteltavien säteilykuvioiden esitystapoina ovat horisontaalikuvioissa napakoordinaatisto ja vertikaalikuvioissa normaali kaksiulotteinen koordinaatisto. [12, s. 155.]



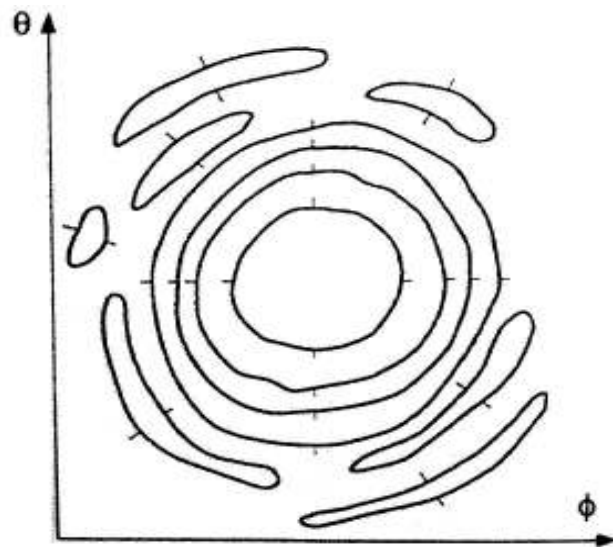
Kuva 12. Esimerkki säteilykuvion esitystavasta (suorakulmainen) [12.]



Kuva 13. Esimerkki säteilykuvion esitystavasta (polaarinen) [12.]



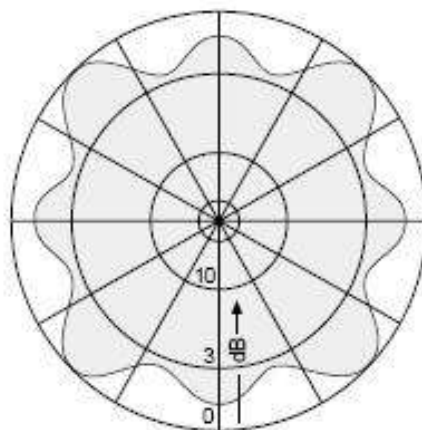
Kuva 14. Esimerkki säteilykuvion esitystavasta (kolmiulotteinen) [12.]



Kuva 15. Esimerkki säteilykuvion esitystavasta (vakioarvokäyrästä) [12.]

5.1.2 Horisontaalikuvio

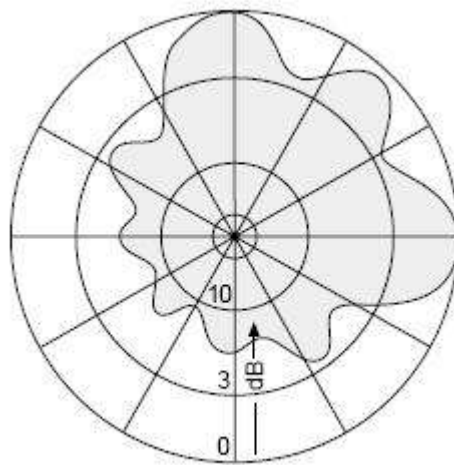
Horisontaalikuvio on maanpinnan suuntainen leikkaus. Sen muotoon vaikuttaa vertikaalisuunta, jossa leikkaus otetaan. Kun halutaan lähettää ohjelmaa mahdollisimman suurelle alueelle, olisi täydellinen horisontaalikuvio ympyränmuotoinen. Tähän ei kuitenkaan käytännössä päästä. Parhaana mahdollisena pidetään sellaista kuviota, jossa minimikohdat olisivat alle 2 dB. Normaalina tuloksena voisi kuitenkin olla esimerkiksi kuvan 16 kaltainen horisontaalikuvio. Kuvassa minimikohdat ovat noin 3 dB. [5, s. 5, 24.]



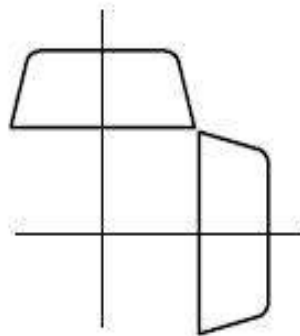
Kuva 16. Esimerkki ympärisäteilevän lähetinantennin horisontaalikuvioista [9.]

Kun taas halutaan suunnata lähetys vain tietylle alueelle, horisontaalikuvio voisi näyttää kuvan 17 kaltaiselta. Kuvassa täydet tehot on suunnattu pää-

osin pohjoiseen ja itään. Tämä lähetystapa on kuitenkin hankala toteuttaa, sillä pienemmän tehon suuntaan tulee kenttään aina syviä minimikohtia, joista ei pääse täysin eroon. Minimikohtien syvyys riippuu pääasiassa maston paksuudesta. Mitä paksumpi masto, sen syvemmät minimikohdat. Yleensä suunnattu lähetystapa voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 18 tyyliin, eli kahdella elementillä yhdessä tasossa. Toinen vaihtoehto on suunnitella hyvä ympärisäteilevä antenni ja vähentää yhden tai kahden elementin saamaa suhteellista tehoa. Jälkimmäisellä tavalla, eli tehonjaolla, horisontaalikuvio voi hyvinkin näyttää kuvan 17 kuviolta. [5, s. 63 - 65.]



Kuva 17. Esimerkki suunnatun lähetinantennin horisontaalikuvioista [9.]

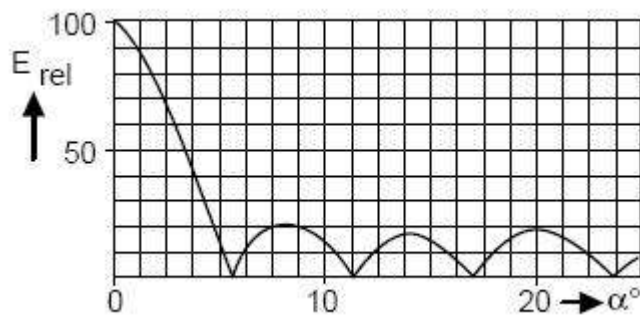


Kuva 18. Esimerkki elementtien sijoittelusta suunnatun antennin tapauksessa. [9.]

5.1.3 Vertikaalikuvio

Vertikaalikuvio on pystysuora leikkaus ja sen muotoon vaikuttaa horisontaalisuunta, jossa leikkaus otetaan. Ideaalisessa vertikaalikuviossa kentänvoimakkuus on yhtä suuri koko antennista nähtävälle maanpinnalle. Signaalia ei kuitenkaan ole järkeä lähettää siten, että osa aalloista menee horisontin yli. Horisontin suuntaan säteilevä teho menee hukkaan ja saattaa häiritä muita lähetyksasemia. [5, s. 5, 28.]

Käytännössä ideaalinen vertikaalikuvio on vaikea toteuttaa. Se vaatisi suurta antennia tarpeeksi hyvän suuntaavuuden saavuttamiseksi. Usein tyydytäänkin siihen, että saavutetun vertikaalikuvion loppuosa muistuttaa ideaalista kuviota. Kuvassa 19 on esimerkki tyypillisestä vertikaalikuviosta. Se kuvaa UHF-alueen nelitasoisen dipolipaneeliantennin vertikaalista säteilykuviota. Pystyakselilla on suhteellinen kentänvoimakkuus ja vaaka-akselilla vertikaalitason suuntakulma. [5, s. 30.]

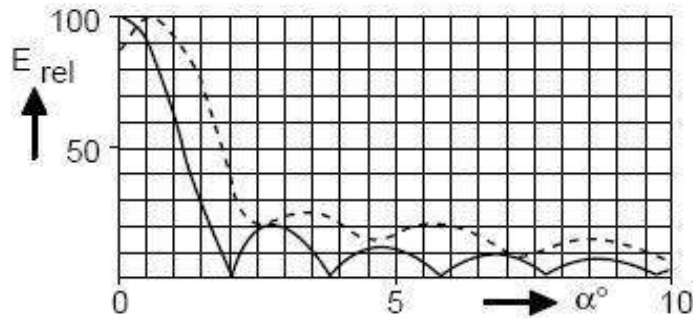


Kuva 19. Esimerkki UHF-alueen dipolipaneeliantennin vertikaalikuviosta (Kathrein). [9.]

Vertikaalikuviossa ongelmana ovat maanpinnalle syntyvät nollakentät. Ne aiheutuvat tietyillä suuntakulman arvoilla. Tämä ongelma koskee tasaisesti syötettyä ja tasaisesti vaiheistettua antenniryhmää. Kuvasta 19 nähdään selvästi kentän nollakohdat. [5, s. 31.]

Käytännössä ainoa keino muotoilla vertikaalikuvio mieleiseksi on virtojen amplitudin ja vaiheen muuttaminen. Antenniryhmän tasavälisyyttä ei haluta yleensä muuttaa. Kuvassa 20 havainnoillistetaan vaiheistetun ja vaiheistamattoman antennin vertikaalikuvion eroa. Katkoviivalla on merkitty vaiheistetun antennin kuviota. Siitä huomataan, että kentällä ei ole nollakohtia, ja kentän suhteellinen voimakkuus on suurin suuntakulman arvolla $0,6^\circ$. Tarpeeksi hyvänä vertikaalikuviona voidaan pitää kuviota, jonka nollakohdat on täytetty

sopivasti niin, etteivät signaalin sivukeilat ole liian korkeita tai matalia. Korkeat sivukeilat heikentävät antennin suuntaavuutta ja voivat aiheuttaa heijastusongelmia kentän minimien kohdalla asuville. Myös liian matalat sivukeilat voivat aiheuttaa vastaavia ongelmia. [5, s. 31 - 33.]



Kuva 20. Esimerkki vaiheistetun ja vaiheistamattoman antennin vertikaalikuvion erosta. (vaiheistettu katkoviivalla) [9.]

5.2 Suuntaavuus, vahvistus ja hyötysuhde

Suuntaavuus ja vahvistus kertovat antennin kyvystä suunnata säteilemänsä teho pääkeilansa suuntaan. Suuntaavuus on antennin säteilykuvion ominaisuus ja sillä tarkoitetaan antennin aiheuttaman maksimitehotiheyden suhdetta keskimääräiseen tehotiheyteen. Suuntaavuudesta ei yleensä kovin paljon puhuta antenneja käsitellessä. Vahvistus puolestaan kuuluu antennin tärkeimpiin sähköisiin ominaisuuksiin. Suuntaavuus ja vahvistus ovat ideaalitalanteessa samoja. Kuitenkin käytännössä antennissa on aina häviöitä, minkä vuoksi vahvistus on aina pienempi kuin suuntaavuus. [11.]

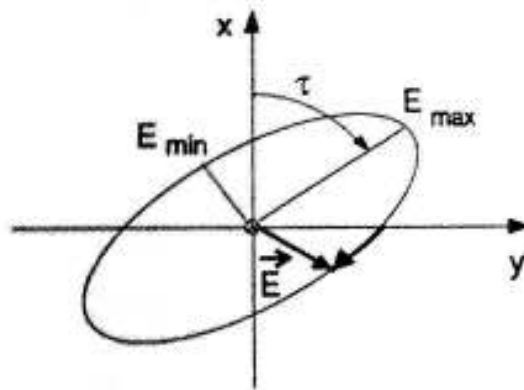
Antennin vahvistus lasketaan kertomalla suuntaavuus antennin hyötysuhteella. Hyötysuhde kertoo antennin säteilytehon suhteen antenniin syötettyyn tehoon. Hyötysuhteeseen on laskettu häviöt, jotka johtuvat muun muassa impedanssiepäsovituksista, materiaalin resistanssista ja säteilevän kentän polarisaatiovirheistä. [5, s. 6; 11.]

5.3 Polarisaatio

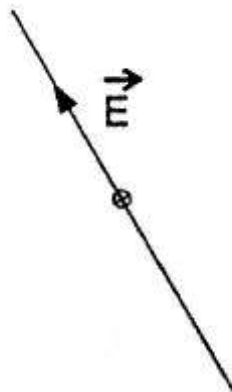
Sähkömagneettiset kentät ovat vektorisuureita ja niillä on tietty suunta avaruudessa. Kentän suuntaa ja amplitudia ajan funktiona kuvaa polarisaatio.

Eli toisin sanoen polarisaatio kuvaa sitä, minkälaisen ”uran” vektorin kuvitteellinen kärki piirtää yhden värähtelyjakson T aikana. [12, s. 27.]

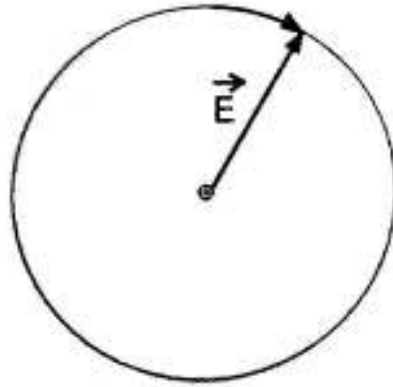
Antennin tapauksessa polarisaatio kuvaa sen säteilemän sähkökentän kompleksisen vektorin suunnan muutoksia. Antennin polarisaatio ei siis riipu amplitudista tai vaiheesta. Kompleksinen vektori määrittelee ellipsin, jonka voidaan ajatella piirtyvän vektorin kärjestä värähtelyjakson aikana. Erikoistapauksena ellipsistä muodostuu jana tai ympyrä. Janaa kutsutaan lineaariseksi polarisaatioksi ja ympyrää ympyräpolarisaatioksi. Lineaarinen polarisaatio voi olla vertikaalista tai horisontaalista ja ympyräpolarisaatio vasen- tai oikeakätistä. Kuvissa 21-23 on havainnoillistavat esimerkit edellä mainituista polarisaatioista. [10, s. 33 - 35.]



Kuva 21. Elliptinen polarisaatio [12.]



Kuva 22. Lineaarinen polarisaatio [12.]



Kuva 23. Oikeakätinen ympyräpolarisaatio [12.]

Antenni on yleensä tarkoitettu toimimaan tietyllä polarisaatiolla. Tätä polarisaatiota kutsutaan pääpolarisaatioksi. Tuleva aalto sovituu hyvin antenniin, jos aallon polarisaatio on sama kuin antennin pääpolarisaatio. Jos taas polarisaatio on eri, syntyy epäsovitusta. Tämä laskee antennin polarisaatiohyötysuhdetta. [12, s. 157.]

6 DIPOLIPANEELIANTENNIN SÄTEILYKUVION LASKEMINEN

6.1 Laskemiseen tarvittavat tiedot

Maston ympärille elementeistä kootun antennin säteilykuvio voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä (6.1)

$$F(\varphi, \theta) = \sum_{i=1}^N F_0(\varphi - \varphi_i, \theta - \theta_i) \cdot I_i \cdot e^{j(\vec{k} \cdot \vec{r}_i + \delta_i)} \quad (6.1)$$

missä

F = säteilykuvio

φ = horisontaalitason suuntakulma, atsimuuttisuunta

θ = vertikaalitason suuntakulma

F_0 = yhden elementin säteilykuvio

φ_i = elementin i pääakselin horisontaalisuunta

θ_i = elementin i pääakselin vertikaalisuunta

I_i = elementin i virran amplitudi

δ_i = elementin i virran vaihekulma

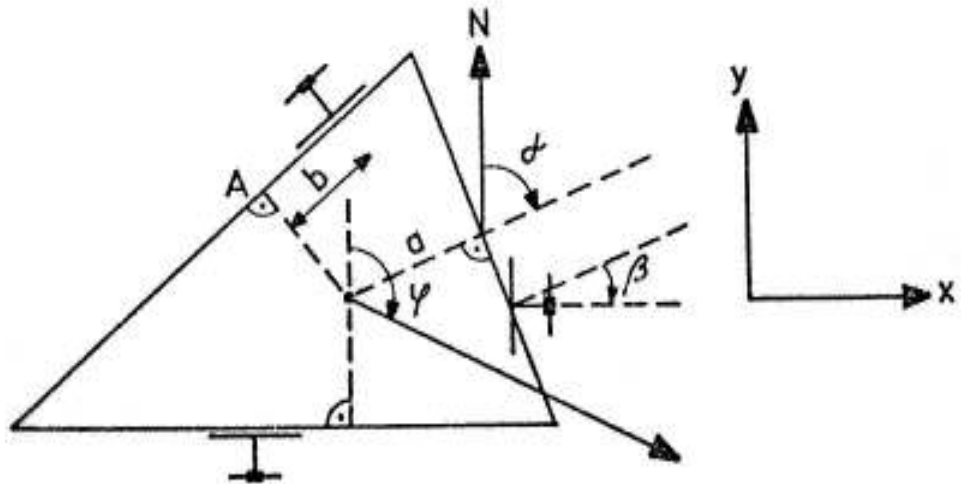
\vec{r}_i = elementin i paikkavektori

\vec{k} = aaltovektori = $2\pi / \lambda \cdot \vec{u}_k$

\vec{u} = yksikkövektori

Yhtälö (6.1) on kuitenkin monimutkainen sellaisenaan käytettynä. Käytännössä säteilykuvio lasketaan aina tietokoneella, joten yhtälö on hyvä saattaa käyttäjälle edullisempaan muotoon, jossa lähtötiedot ovat antennipiirustuksista saatavia mittoja. [5, s. 35.]

Yleisradiotoiminnassa lähetinantennit koostuvat päällekkäin olevista tasoista, joissa on yleensä kolme tai neljä elementtiä. Tasoja on 1-16 kappaletta. Tasossa elementit ovat sijoiteltuna säännöllisen tai epäsäännöllisen monikulmion sivuilla. Seuraavaksi tutkitaan esimerkkikuvien 24 ja 25 avulla tapausta, jossa monikulmio on epäsäännöllinen. Kuva 24 esittää ylhäältä päin kuvattua tilannetta, joten koordinaatistossa ollaan x,y -tasolla. Kuva 25 taas esittää tilannetta sivulta päin katsottuna, joten siinä tutkitaan z -tasoa. Kuvis- sa olevat kaikki mitat ja kulmat tarvitaan antennin määrittelyyn laskentaa varten. [5, s. 36.]



Kuva 24. Esimerkki kolmion sivuilla olevista elementeistä [5.]

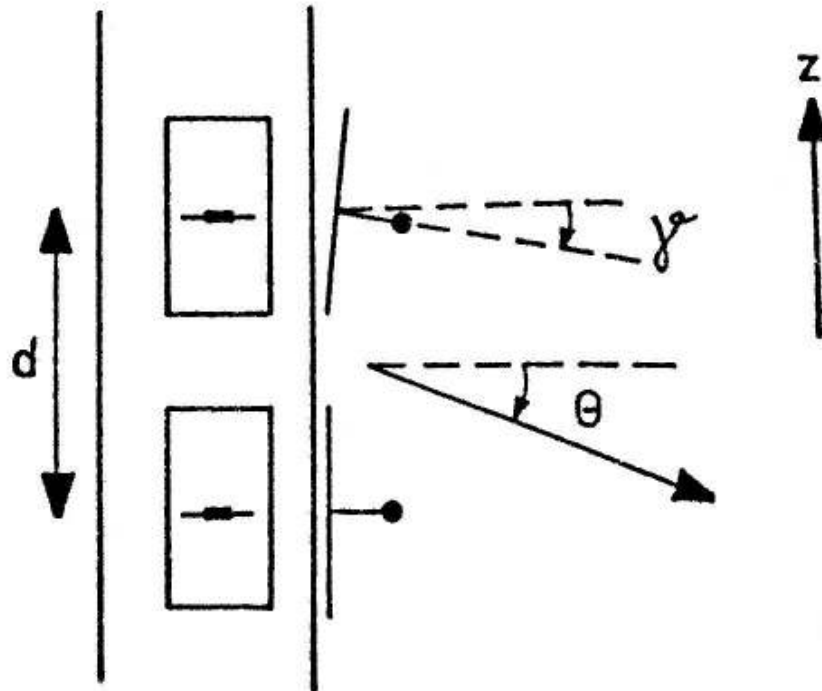
Kuvassa 24

a = monikulmion sivun kohtisuora etäisyys origosta (origo voi olla mikä tahansa piste monikulmion sisällä, kunhan se sijaitsee joka tasossa samalla suoralla, eli tässä tapauksessa z-akselilla)

b = elementin sivuttaissiirto sivun ja sen origon kautta kulkevan normaalin leikkauspisteestä (piste A kuvassa 24), positiivinen myötäpäivään

α = monikulmion sivun normaalin atsimuuttisuunta

β = elementin kääntö sivun normaalin suhteen, positiivinen myötäpäivään



Kuva 25. Antenni sivulta päin katsottuna. [5.]

Kuvassa 25

d = tason etäisyys referenssitasosta (alin taso)

γ = elementin kääntö pystytasossa, positiivinen alaspäin

6.2 Yksinkertaistaminen tietokonelaskentaa varten

Teoriassa suureet voivat olla eri suuruisia eri elementeillä. Tämän vuoksi käytetään alaindeksijä m ja n , joista m tarkoittaa tason järjestysnumeroa ja n sillä tasolla olevan elementin järjestysnumeroa. Suureet a , b , α , β ja γ tarvitsevat kummatkin alaindeksit, d vain alaindeksin m . Säteilykuvion yhtälöksi saadaan alaindeksien kanssa yhtälö (6.2). [5, s. 37.]

$$F(\varphi, \theta) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} F_0(\varphi - \varphi_{mn}, \theta - \theta_{mn}) \cdot I_{mn} \cdot e^{j(\bar{k} \cdot r_{mn} + \delta_{mn})} \quad (6.2)$$

missä

M = antennin tasojen lukumäärä

N_m = elementtien lukumäärä tasossa m

Kuvia 24 ja 25 apuna käyttäen ja trigonometrian tiedoilla yhtälöstä (6.2) saadaan vieläkin parempi tietokoneen käyttöä ajatellen. Origo sijoitetaan alimmalle antennitasolle. Tällöin aaltovektori \bar{k} on

$$\bar{k} = k(\bar{u}_x \cdot \sin \varphi \cdot \cos \theta + \bar{u}_y \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta - \bar{u}_z \cdot \sin \theta) \quad (6.3)$$

Elementin etäisyys z-akselista on $\sqrt{a_{mn}^2 + b_{mn}^2}$ ja etäisyys x,y-tasosta on d_m .

Horisontaalinen suuntakulma origosta elementtiin on $\alpha_{mn} + \arctan \frac{b_{mn}}{a_{mn}}$. Elementin paikkavektori on näin ollen

$$\begin{aligned} \bar{r}_{mn} = & \sqrt{a_{mn}^2 + b_{mn}^2} \cdot [\bar{u}_x \cdot \sin(\alpha_{mn} + \arctan \frac{b_{mn}}{a_{mn}}) + \bar{u}_y \cdot \\ & \cos(\alpha_{mn} + \arctan \frac{b_{mn}}{a_{mn}})] + \bar{u}_z \cdot d_m \end{aligned} \quad (6.4)$$

Elementin pääakselin horisontaaliset ja vertikaaliset suuntakulmat ovat

$$\varphi_{mn} = \alpha_{mn} + \beta_{mn} \quad (6.5)$$

$$\theta_{mn} = \gamma_{mn} \quad (6.6)$$

Kun sijoitetaan yhtälöt (6.3) – (6.6) yhtälöön (6.2) ja puretaan pistetulo $\bar{k} \cdot \bar{r}_{mn}$, saadaan antennin säteilykuvion yhtälöksi

$$\begin{aligned} F(\varphi, \theta) = & \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} F_0(\varphi - \varphi_{mn}, \theta - \theta_{mn}) \cdot I_{mn} \cdot \\ & \exp\{j[k(c_{mn} \cdot \cos \theta \cdot \cos \xi_{mn} - d_m \cdot \sin \theta) + \delta_{mn}]\} \end{aligned} \quad (6.7)$$

missä

$$\varphi_{mn} = \alpha_{mn} + \beta_{mn} \quad (6.8)$$

$$c_{mn} = \sqrt{a_{mn}^2 + b_{mn}^2} \quad (6.9)$$

$$\xi_{mn} = \alpha_{mn} + \arctan \frac{b_{mn}}{a_{mn}} - \varphi \quad (6.10)$$

Yhtälö (6.7) sopii sellaisenaan tietokoneella laskettavaksi. Jos monikulmio on säännöllinen, voidaan ilmoittaa vain yhden sivun normaalin suunta (ε_m) sen sijaan, että ilmoitettaisiin jokaisen sivun normaalin suunta. Tällöin yhtälöön (6.7) sijoitetaan φ_{mn} (atsimuuttisuunta) ja ξ_{mn} (nopeuskerroin) eri tavalla seuraavasti

$$\varphi_{mn} = \varepsilon_m + (n-1) \cdot \frac{2\pi}{N} + \beta_{mn} \quad (6.11)$$

$$\xi_{mn} = \varepsilon_m + (n-1) \cdot \frac{2\pi}{N} + \arctan \frac{b_{mn}}{a_{mn}} - \varphi \quad (6.12)$$

6.3 Horisontaali- ja vertikaalikuvion laskeminen

6.3.1 Säännöllisyys

Joissain tapauksissa säteilykuvio voidaan lausua muodossa, jossa horisontaali- ja vertikaalikuvio erotetaan toisistaan. Säteilykuvion yhtälö näyttää silloin seuraavalta:

$$F(\varphi, \theta) = F_h(\varphi) \cdot F_v(\theta) \quad (6.13)$$

Tällaisessa tapauksessa antennia kutsutaan tässä työssä säännölliseksi. Tarkkaan ottaen säännöllistä antennia ei ole olemassakaan. Nyt kuitenkin voidaan tehdä sellainen oletus, että vain θ :n arvot alle 20° :n kiinnostavat. Tällöin voidaan merkitä $\cos\theta \approx 1$, jolloin yhden antennitason horisontaalikuvio ei riipu θ :sta. Nyt yhtälö (6.13) on käyttökelpoinen, eikä suunnassa $\theta = 20^\circ$ pyöristykseen aiheuttama virhekään ole kuin korkeintaan 1 dB.

Yhtälön (6.13) käytön seurauksena horisontaalikuvio $F_h(\varphi)$ voidaan laskea ainoastaan yhden antennitason tiedoilla. Vertikaalikuvion $F_v(\theta)$ laskemi-

seen tarvitaan vain eri antennitasojen väliset erot tason sisäisestä rakenteesta välittämättä.

Kun eri antennitasojen geometria on sama ja niiden sisäinen suhteellinen vaiheistus ja tehonjako ovat samat, on eri antennitasojen horisontaalikuviot samanlaisia. Jos elementtejä käännetään pystytasossa samassa tasossa, on käännön tapahduttava samalla tavalla kaikilla elementeillä. Eri tasoissa kääntö voi olla eri suuri. Edellä mainitut ehdot täyttävää antennia kutsutaan säännölliseksi. Jäljempänä tässä työssä tutkittavat antennit oletetaan säännöllisiksi. [5, s. 40 - 42.]

6.3.2 Horisontaalikuviot yhtälö

Säännöllisen lähetinantennin horisontaalikuviot saadaan yhtälöstä (6.7) sijoittamalla siihen yhtälöiden (6.8) - (6.10) suuret.

$$F_h(\varphi) = \sum_{n=1}^N F_{oh}(\varphi - \alpha_n - \beta_n) \cdot I_n \cdot \exp\left\{j\left(k\sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cdot \cos\left(\alpha_n + \arctan\frac{b_n}{a_n} - \varphi\right) + \delta_n\right)\right\} \quad (6.14)$$

missä

F_{oh} = elementtiantennin horisontaalikuviot

N = elementtien lukumäärä

α_n = monikulmion sivun n normaalin atsimuuttisuunta

β_n = elementin n kääntö monikulmion sivuun nähden, positiivinen myötäpäivään

a_n = monikulmion sivun n kohtisuora etäisyys origosta

b_n = elementin n sivuttaissiirto sivun n ja sen origon kautta piirretyn normaalin leikkauspisteestä, positiivinen myötäpäivään

I_n = elementin n virran amplitudi

δ_n = elementin n virran vaihe

$$k = 2\pi/\lambda$$

6.3.3 Vertikaalikuvion yhtälö

Säännöllisen lähetinantennin vertikaalinen säteilykuvio saadaan laskettua yhtälöstä (6.15).

$$F_v(\theta) = \sum_{m=1}^M F_{ov}(\theta - \gamma_m) \cdot I_m \cdot \exp\{j(-kd_m \cdot \sin\theta + \delta_m)\} \quad (6.15)$$

missä

F_{ov} = elementtiantennin vertikaalikuvio

M = elementtien lukumäärä

γ_m = tason m elementtien käänö pystytasossa

I_m = tason m suhteellinen virta

δ_m = tason m suhteellinen vaihekulma

d_m = tason m etäisyys alimmasta tasosta

$$k = 2\pi/\lambda$$

I_m ja δ_m ilmoittavat eri antennitasojen erot. Säännöllisessä antennissa jokaisen tason sisäinen tehonjako ja vaiheistus on sama. [5, s. 43, 66.]

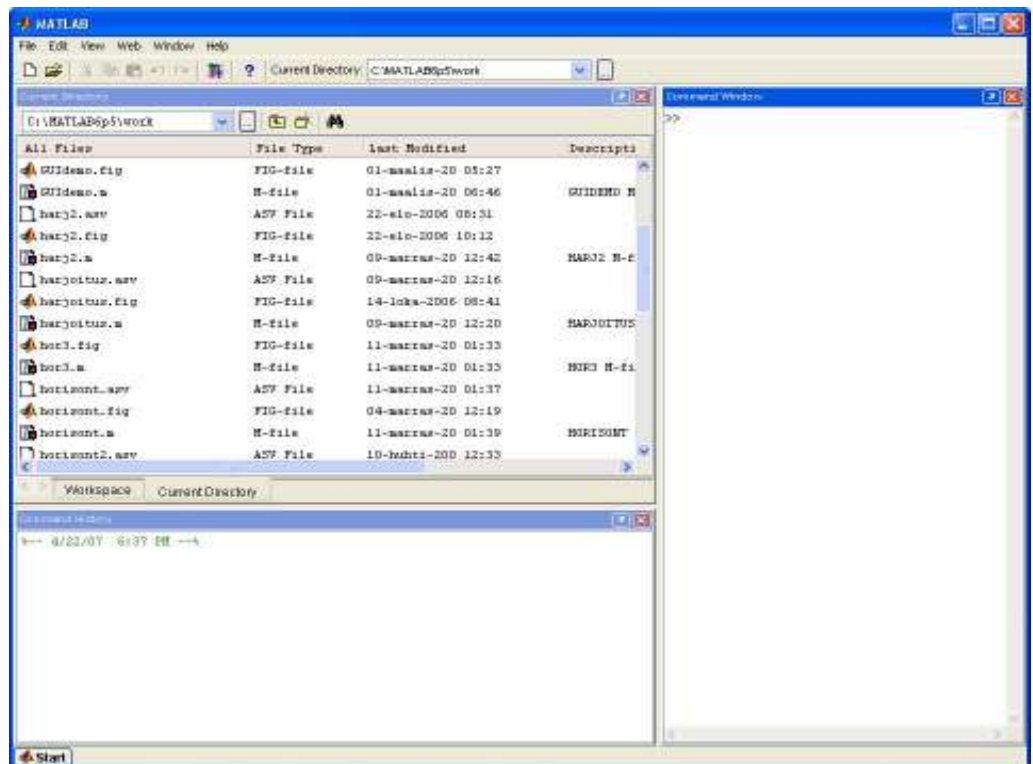
7 LASKEMINEN MATLABILLA

7.1 MATLAB-ohjelma

MATLAB tulee sanoista matrix laboratory. MATLAB-ohjelma on monipuolinen, interaktiivinen ja tarkoitettu vaatimaan numeeriseen laskentaan ja graafiseen esittämiseen. Alunperin 70-luvulla ohjelma oli fortran-ohjelmointikielellä kirjoitettu matriisienkäsittelyohjelma, jota julkisohjelmiana

levitettiin yliopistoille. Sittemmin ohjelma on kaupallistunut ja oikeudet omistaa nykyisin amerikkalainen Mathworks. Samalla ohjelmaan on tullut lukuisia parannuksia. Yksityiskäyttöön ohjelman ostaminen on varsin kallista, mutta oppilaitoksille on saatavissa melko edullisia lisenssejä.

MATLABin hyviä puolia ovat helppokäyttöisyys, yksinkertainen syntaksi, saatavuus useimmille tietokoneille sekä suuri määrä valmiita funktioita ja toolboxeja. Syntaksista yksinkertaisen tekee se, että matemaattiset ongelmat ja ratkaisut esitetään samalla tavalla kuin ne esitettäisiin matematiikassa, ilman perinteistä ohjelmointia. Toolboxit puolestaan ovat MATLABin erikoispiirre. Toolbox tarkoittaa ohjelmanlaajennusta ja on oikeastaan kokoelma funktioita. Toolboxit laajentavat MATLABin käyttökelpoisuutta pienten erikoisalojen käytössä. Toolboxeja on esimerkiksi signaalinkäsittelyyn, siirtokäyttöön, kuvankäsittelyyn ja sumeaan logiikkaan. Kuvasta 26 nähdään, miltä MATLABin käyttöliittymä perustilassa näyttää. [13; 14.]



Kuva 26. MATLAB perustilassa

7.2 Säteilökuvion laskeminen MATLABilla

Säteilökuvion laskeminen tietokoneohjelmalla vaatii vain lähtötietojen määrittelyn, laskennan ja tulostuksen. Lähtötietojen määrittelyä varten tehdään käyttöliittymäikkuna, jossa käyttäjä antaa tarvittavat arvot eri muuttujille.

Laskenta tapahtuu tässä tapauksessa MATLABin m-tiedostossa, johon on kirjoitettu funktiot ja komennot. Lopuksi piirtokäskyn avulla tapahtuu grafiikan tulostus joko käyttöliittymäikkunaan tai omaan uuteen ikkunaan. Seuraavaksi tarkastellaan jokaista vaihetta yleisesti sekä hieman tarkemmin tämän työn kannalta. Yksityiskohtaiseen ohjelmointiin ei kuitenkaan mennä. Ohjelmakoodi kokonaisuudessaan on liitteenä.

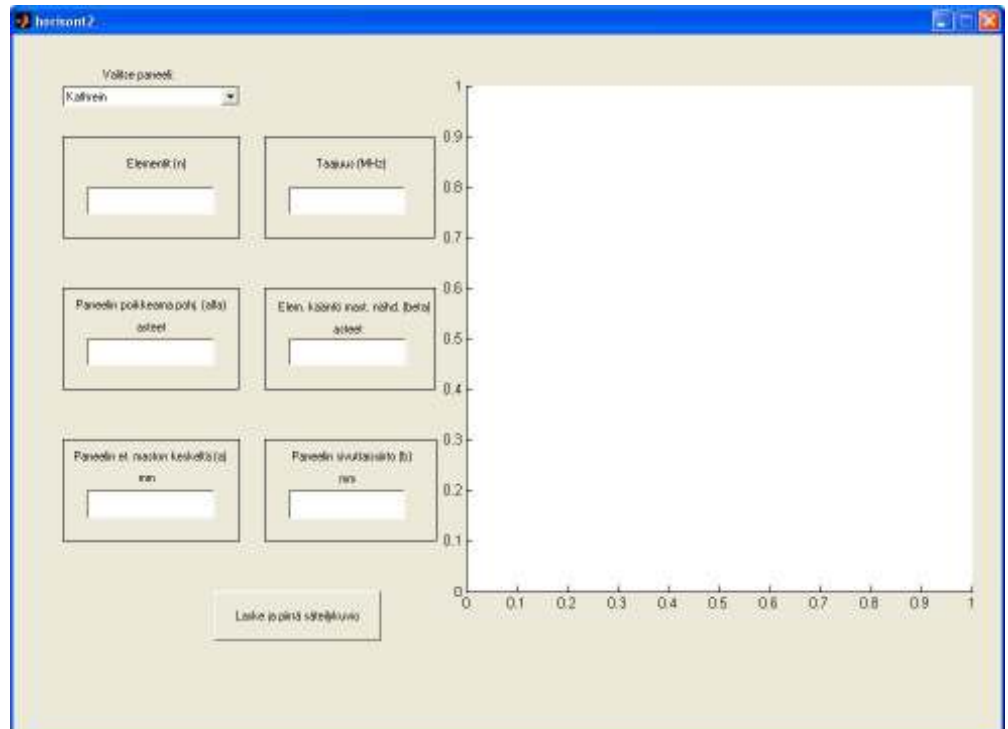
7.2.1 Graafisen käyttöliittymän tekeminen

MATLABin GUI (Graphical User Interface), eli graafinen käyttöliittymä, on tarkoitettu graafisten komponenttien rakentamiseen. Käyttöliittymän tarkoitus on helpottaa käyttäjän työskentelyä ja automatisoida toimintoja. Kullakin komponentilla on jokin tehtävä. Käyttöliittymään kuuluu ikkuna komponenttien sijoittelua varten sekä ohjelmakoodi toimintojen toteutukseen. [14.]

Käyttöliittymiä luodaan MATLABin GUIDella (Graphical User Interface Development Environment). Siinä asemoidaan komponentit ja määritellään niiden toiminnallisuus. GUIDE luo kaksi tiedostoa; fig-tiedoston ja m-tiedoston. Fig-tiedostossa on käyttöliittymäikkunan sekä komponenttien paikat ja ominaisuudet tallennettuna. M-tiedostossa taas on toimintaa ohjaava koodi. [14.]

Tässä työssä keskityttiin horisontaalikuvion laskentaan MATLABilla. Yhtälöstä (6.14) saadaan tietää tarvittavat suureet säteilykuvion laskentaa varten. Antenni oletettiin säännölliseksi, joten elementin alaindeksillä ei ole väliä käyttöliittymän suunnittelun kannalta. Elementin virran amplitudin vaikutus eliminoidaan ja arvoksi asetetaan yksi. Tämän jälkeen käyttäjältä jää kysyttäväksi kuusi suurta. Tarvitaan elementtien lukumäärä, lähetystaajuus, paneelin atsimuuttisuunta, elementin kääntö mastoon nähden, paneelin etäisyys maston keskeltä ja elementin sivuttaissiirto.

Edellä mainituille muuttujille tehdään käyttöliittymään kyselykentät, joista lukuarvot siirtyvät funktioiden käyttöön m-tiedostoon. Säteilykuvion piirtämistä varten tarvitaan akselisto ja painonappi, jonka painalluksesta koko prosessi käynnistyy. Lisäksi on hyvä olla käytössä valintalista, josta voidaan vaihtaa käytössä olevaa säteilykuvion tietokantaa. Kuvassa 27 on tämän työn käyttöliittymä alkutilanteessa.



Kuva 27. Horisontaalisen säteilykuvion laskennan käyttöliittymä

7.2.2 Laskenta ja m-tiedostot

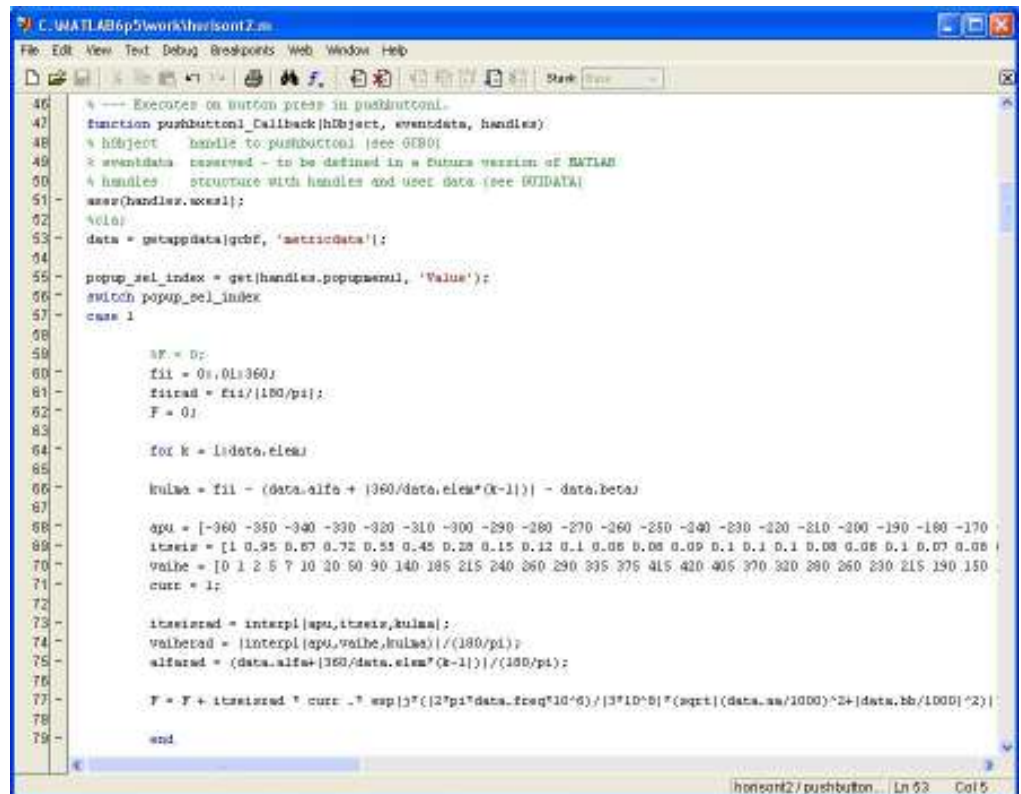
MATLABin käyttö perustuu funktioihin ja komentoihin, jotka kirjoitetaan m-tiedostoon. M-tiedostoa muokataan m-editorissa (kuva 28), jossa voidaan myös suorittaa virheenkorjausta debug-toiminnolla. Virheenkorjaukseen kuuluu suoritusten aikaisten virheiden etsiminen. Syntaksivirheet havaittuaan MATLAB ilmoittaa ne ohjelman suorituksen aikana kuvassa 26 oikealla olevassa komentoikkunassa, siis ilman debug-toiminnon käyttöä. MATLABissa funktioita käytetään selkiyttämään koodausta ja lisäämään uusia ominaisuuksia. Funktiolle voi antaa parametrejä ja se voi palauttaa arvoja. [14; 15.]

Horisontaalikuvion yhtälö (6.14) on summalauseke. Tämä on toteutettu for-silmukan avulla. Silmukan kierrokset määrää elementtien lukumäärä. Vaikka antenni on oletettu säännölliseksi, täytyy joka kierroksella elementin atsimuuttisuuntaan kuitenkin lisätä elementtien määrästä riippuva asteluku, neljällä elementillä 90° ja kolmella 120° . Näin saadaan laskettua jokaisen elementin säteilykuvio.

Yhden elementin säteilykuvion itseisarvot saadaan interpoloinnin avulla syöttämällä koodiin valmiiksi tiettyä itseisarvoa vastaavat suuntakulmat ja virran vaiheet täyden ympyrän alueelta. Nämä arvot voidaan saada valmistajan ilmoittamina. Tässä työssä esimerkkikuviona on Kathreinin horisontaalikuvio,

josta katsottuja arvoja käytetään koodissa. Liitteenä olevasta koodista nähdään tarkemmin interpoloinnin toiminta. Suuntakulmaa edustaa apuniminen, itseisarvoa itseis-niminen ja virran vaihetta vaihe-niminen muuttuja.

Laskennan kannalta olennainen koodi kirjoitetaan painonapin toiminnallisuutta määrittelevään kohtaan, eli tässä työssä *pushbutton1_Callback*-kohdan alle. Muilta osin koodaus on lähinnä käyttöliittymän kyselykentistä saadun arvon määrittelyä vastaamaan jotain tiettyä suuretta.



```

46 % --- Executes on button press in pushbutton1.
47 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
48 % hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
49 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
50 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
51 ans(handles.axes1);
52 %ola;
53 data = getappdata(gcf, 'metricdata');
54
55 popup_sel_index = get(handles.popupmenu1, 'Value');
56 switch popup_sel_index
57 case 1
58
59     %F = 0;
60     fil = 0; %1360;
61     firad = fil/(180/pi);
62     F = 0;
63
64     for k = 1:data.elem;
65
66         kulaa = fil - (data.alfa + (360/data.elem*(k-1)) - data.beta);
67
68         apu = [-360 -350 -340 -330 -320 -310 -300 -290 -280 -270 -260 -250 -240 -230 -220 -210 -200 -190 -180 -170
69             itseis = [1 0.95 0.87 0.72 0.53 0.45 0.28 0.15 0.12 0.1 0.08 0.08 0.09 0.1 0.1 0.1 0.08 0.08 0.1 0.07 0.08
70             vaihe = [0 1 2 5 7 10 20 50 90 140 185 215 240 260 290 335 375 415 420 405 370 320 290 260 230 215 190 150
71             curr = 1;
72
73             itseisrad = interp1(apu, itseis, kulaa);
74             vaiherad = (interp1(apu, vaihe, kulaa))/(180/pi);
75             alfarad = (data.alfa + (360/data.elem*(k-1)))/(180/pi);
76
77             F = F + itseisrad * curr .* exp(j*(2*pi*data.freq*10^-6)/(3*10^8)*sqrt(1+(data.aa/1000)^2+|data.bb/1000|^2));
78
79         end

```

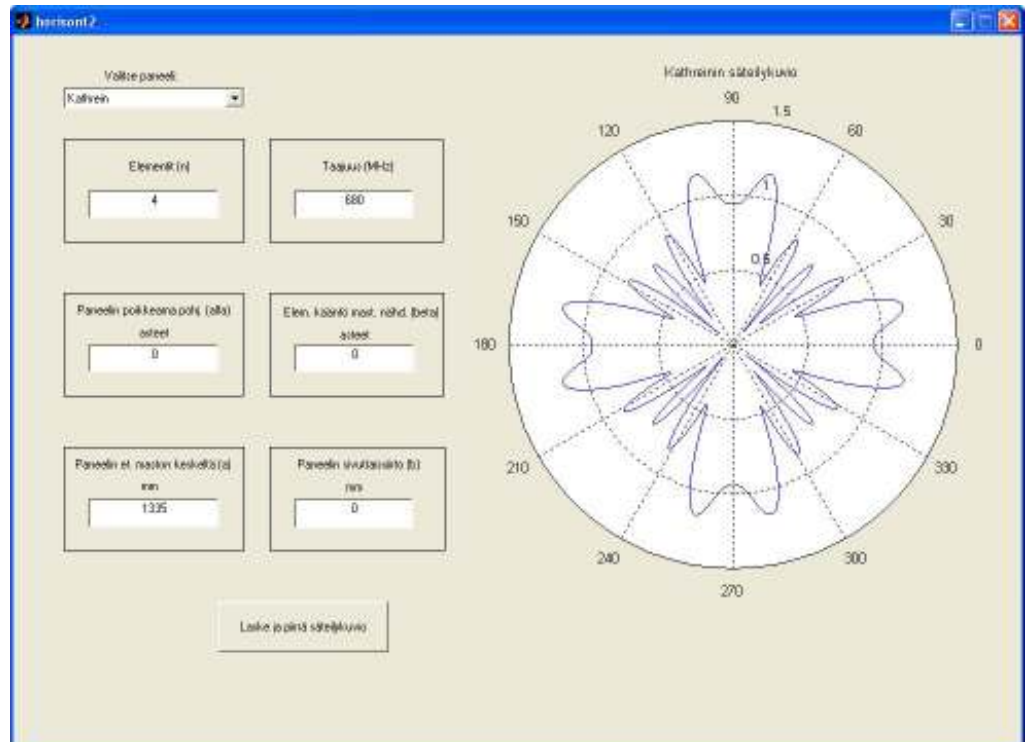
Kuva 28. Näkymä m-tiedoston editorista

7.2.3 Säteilökuvion esitys graafisesti

MATLABissa on monipuoliset piirto komennot. *Plot*-komennolla voidaan piirtää kaksiulotteisia ja *plot3*-komennolla kolmiulotteisia esityksiä. Kuvan skaalaukseen on käytössä *axis*-komento, jolla voi määrätä koordinaatiston rajat ja muun toiminnan. MATLABissa on lisäksi lukuisia komentoja kuvaajien visualisointiin. [13.]

Koska tässä työssä oli kyseessä horisontaalikuvi, valittiin esitystavaksi napakoordinaatisto. *Polar*-komento MATLABissa piirtää kuvan 29 kaltaisen napakoordinaatiston. *Polar*-komento vaatii parametreiksi suuntakulman ja sädevektorin pituuden. Suuntakulma annetaan radiaaneina ja tässä työssä sä-

teen pituutena toimii antennin säteilykuvion itseisarvo. Kuvassa 29 on esimerkki nelielementtisen antennin horisontaalikuviosta tämän työn ohjelmalla laskettuna.



Kuva 29. Säteilykuvio käyttöliittymässä

8 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tehdä MATLAB-sovellus, joka laskee ja tulostaa yleisradiotoiminnassa käytettävän dipolipaneeliantenniryhmän säteilykuvion. Tarkkaan ottaen oli tarkoitus tehdä kaksi erillistä sovellusta, joista toinen olisi laskenut horisontaalikuviota ja toinen vertikaalikuviota. Ajanpuutteen vuoksi päädyttiin ratkaisuun, että vain horisontaalikuviota laskentaohjelman teko riittää. Vertikaalikuviota laskeminen tietokoneella olisi ollut näistä kahdesta hieman työläämpi. Hyvänä puolena tässä oli se, että aiheesta jäi vielä jatkotutkittavaa ehkä jollekin toiselle opiskelijalle.

Toinen työn pääteemoista oli saada työn valvojan yliopettaja Antti Koivumäen vuoden 1980 diplomityön mahdollisia vanhentuneita osuuksia päivitettyä nykypäivään. Tavoitteena oli myös suorittaa laskenta ja piirtäminen huomattavasti modernimmalla tietokoneohjelmalla. Vanhentuneita asioita ei kovin paljoa ollut, joten päivityksenä voidaan pitää taajuuksienjakopolitiikan

paljoa ollut, joten päivityksenä voidaan pitää taajuuksienjakopolitiikan tilanteen kertomista ja uusimpia kuvia. Matematiikkahan harvoin vanhenee. Tietokonelaskenta puolestaan on muuttunut erittäin paljon helpommaksi. Entisaajan työlääät tietojensyötöt sujuvat nykyään melko vaivattomasti grafiikan tulostuksesta puhumattakaan.

Yksi työn tarkoitus oli myös perehtyä teoriaosuudessa työn kannalta oleellisten antennien ominaisuuksiin, rakenteeseen ja säteilykuvioihin ja niiden laskentaan. Tätä osuutta oli vaikea tehdä kovin paljon lähdemateriaalista poiketen. Niinpä kaavojen johtamiseenkin oli vedettävä raja johonkin, eikä antennin säteilykuvion synteesiin menty sen tarkemmin.

Työn tavoitteisiin päästiin tyydyttävästi MATLAB-ohjelman osalta. Teorian osalta tavoitteisin päästiin vähän paremmin. Kun työtä ei tehty millekään yritykselle, oli tiedonkeruu julkisen tiedon varassa. Suurin osa työssä tarvittavasta tiedosta oli hyvin saatavilla, kun taas joitain tietoja oli vaikeahko hankkia. Esimerkiksi ei voinut tarkasti sanoa minkä valmistajan laitteistoa Yleisradio missäkin antennissa käyttää. Valmistajien verkkosivuiltakin sai vain joitain tiedonmurusia.

VIITELUETTELO

- [1] Laiho, Jorma, Mihin taajuutemme kelpaavat. Oy Yleisradio Ab [verkkodokumentti, viitattu 13.9.2006]. Saatavissa: <http://www.yle.fi/teknikka/tklehti/>.
- [2] Digita Oy, Yhtiön esittely [verkkodokumentti, viitattu 13.11.2006]. Saatavissa: http://www.digita.fi/digita_esittely.asp?path=1840;2249.
- [3] Digita Oy, Digitan pääasemat ja niiltä lähetettävät digikanavat [verkkodokumentti, viitattu 13.11.2006]. Saatavissa: <http://www.digitv.fi/binary.asp?path=1;8224;8246;8247>.
- [4] Liimatainen, Pauli, Radiotekniikka Oppitunnit 2005. Kurssimoniste. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. 2005.
- [5] Koivumäki, Antti, Yleisradiotoiminnassa käytettävien VHF- ja UHF-lähetinantennien suunnittelumenetelmien tutkiminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkötekniillinen osasto. Espoo. 1980.
- [6] Kathrein-Werke KG, 50 Years of Kathrein FM & TV; Broadcasting Antennas & Antenna Systems [verkkodokumentti, viitattu 12.11.2006]. Saatavissa: <http://www.kathrein.de/en/bca/kataloge/download/99810275.pdf>.
- [7] Strang, Janne, Mastot [verkkodokumentti, viitattu 13.11.2006]. Saatavissa. <http://www.tarkastaja.com/~janne/mastot/Ruka/P9210021.html>.
- [8] Jampro Antennas, Flat Panel Antenna [verkkodokumentti, viitattu 13.11.2006]. Saatavissa: <http://www.jampro.com/fma/jampjcpd.htm>.
- [9] Kathrein-Werke KG, Broadcast Antenna Systems for FM, TV, MMDS, DAB and DVB [verkkodokumentti, viitattu 11.11.2006]. Saatavissa: <http://www.kathrein.de/en/bca/kataloge/download/99810190.pdf>.

- [10] Lindell, Ismo - Nikoskinen, Keijo, Antenniteoria (848). 4. painos. Hakapaino Oy: Helsinki. 1997.
- [11] Koivumäki, Antti, Antennitekniikka. Kurssimoniste. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. 2004.
- [12] Räisänen, Antti - Lehto, Arto, Radiotekniikka (885). 7. painos. TKK Offset: Espoo. 1996.
- [13] Apiola, Heikki – Laine, Marko, MATLAB-opas [verkkodokumentti, viitattu 14.4.2007]. Saatavissa: <http://math.tkk.fi/~apiola/matlab/opas/lyhyt/>.
- [14] Eriksson, Lasse, Johdatus MATLAB-ohjelmiston käyttöön. Luentokalvot. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 2005. [verkkodokumentti, viitattu 14.4.2007]. Saatavissa: <http://www.control.hut.fi/Kurssit/MATLAB/>
- [15] Lähteenmäki, Matti, MATLAB 6.0 Käyttöliittymäopas. Tampereen ammattikorkeakoulu. 2001. [verkkodokumentti, viitattu 15.4.2007]. Saatavissa: http://www.tpu.fi/~lahteenm/arkistot/mlab_pdf/matlab_opas.pdf.

MATLAB-OHJELMAN KOODI

```

function varargout = horisont2(varargin)
% HORIZONT2 M-file for horisont2.fig
%   HORIZONT2, by itself, creates a new HORIZONT2 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = HORIZONT2 returns the handle to a new HORIZONT2 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   HORIZONT2('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in HORIZONT2.M with the given input arguments.
%
%   HORIZONT2('Property','Value',...) creates a new HORIZONT2 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before horisont2_OpeningFunction gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to horisont2_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 horisont2

% Last Modified by GUIDE v2.5 04-Nov-2006 19:56:04

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @horisont2_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @horisont2_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin & isstr(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 on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
axes(handles.axes1);
data = getappdata(gcf, 'metricdata');

```

```

popup_sel_index = get(handles.popupmenu1, 'Value');
switch popup_sel_index
case 1

    fii = 0:.01:360;
    fiirad = fii/(180/pi);
    F = 0;

    for k = 1:data.elem;

        kulma = fii - (data.alfa + (360/data.elem*(k-1))) - data.beta;

        apu = [-360 -350 -340 -330 -320 -310 -300 -290 -280 -270 -260 -250 -240 -230 -220 -
210 -200 -190 -180 -170 -160 -150 -140 -130 -120 -110 -100 -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -
20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210
220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360];
        itseis = [1 0.95 0.87 0.72 0.55 0.45 0.28 0.15 0.12 0.1 0.08 0.08 0.09 0.1 0.1 0.1 0.08
0.08 0.1 0.07 0.08 0.1 0.14 0.14 0.14 0.13 0.12 0.11 0.14 0.19 0.27 0.41 0.55 0.69 0.85
0.95 1 0.95 0.87 0.72 0.55 0.45 0.28 0.15 0.12 0.1 0.08 0.08 0.09 0.1 0.1 0.1 0.08 0.08
0.1 0.07 0.08 0.1 0.14 0.14 0.14 0.13 0.12 0.11 0.14 0.19 0.27 0.41 0.55 0.69 0.85 0.95
1];
        vaihe = [0 1 2 5 7 10 20 50 90 140 185 215 240 260 290 335 375 415 420 405 370
320 280 260 230 215 190 150 100 30 20 10 7 5 2 1 0 1 2 5 7 10 20 50 90 140 185 215
240 260 290 335 375 415 420 405 370 320 280 260 230 215 190 150 100 30 20 10 7 5 2
1 0];
        curr = 1;

        itseisrad = interp1(apu,itseis,kulma);
        vaiherad = (interp1(apu,vaihe,kulma))/(180/pi);
        alfarad = (data.alfa+(360/data.elem*(k-1)))/(180/pi);

        F = F + itseisrad * curr .*
exp(j*((2*pi*data.freq*10^6)/(3*10^8)*(sqrt((data.aa/1000)^2+(data.bb/1000)^2))*cos(alfarad+atan((data.bb/1000)/(data.aa/1000))-fiirad) + vaiherad));

    end

    polar(fiirad,abs(F));
    title('Kathreinin säteilykuvio');

case 2

    F = 0;
    fii = 0:.01:360;
    fiirad = fii/(180/pi);

    for k = 1:data.elem;

        kulma = fii - (data.alfa + (360/data.elem*(k-1))) - data.beta;

        apu = [-360 -350 -340 -330 -320 -310 -300 -290 -280 -270 -260 -250 -240 -230 -220 -
210 -200 -190 -180 -170 -160 -150 -140 -130 -120 -110 -100 -90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -
20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210
220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360];

```

```

itseis = [1 0.99 0.97 0.93 0.88 0.82 0.75 0.67 0.58 0.48 0.35 0.21 0.09 0.09 0.09 0.06
0.06 0.04 0.01 0.04 0.06 0.06 0.09 0.09 0.09 0.21 0.35 0.48 0.58 0.67 0.75 0.82 0.88 0.93
0.97 0.99 1 0.95 0.87 0.72 0.55 0.45 0.28 0.15 0.12 0.1 0.08 0.08 0.09 0.1 0.1 0.1 0.08
0.08 0.1 0.07 0.08 0.1 0.14 0.14 0.14 0.13 0.12 0.11 0.14 0.19 0.27 0.41 0.55 0.69 0.85
0.95 1];
vaihe = [0 1 2 3 4 7 13 24 35 50 70 100 145 200 280 375 430 430 440 430 430 375
280 200 145 100 70 50 35 24 13 7 4 3 2 1 0 1 2 5 7 10 20 50 90 140 185 215 240 260
290 335 375 415 420 405 370 320 280 260 230 215 190 150 100 30 20 10 7 5 2 1 0];
curr = 1;

itseisrad = interp1(apu,itseis,kulma);
vaiherad = (interp1(apu,vaihe,kulma))/(180/pi);
alfarad = (data.alfa+(360/data.elem*(k-1)))/(180/pi);

F = F + itseisrad * curr .*
exp(j*((2*pi*data.freq*10^6)/(3*10^8)*(sqrt((data.aa/1000)^2+(data.bb/1000)^2))*cos(alfarad+atan((data.bb/1000)/(data.aa/1000))-fiirad) + vaiherad));

end

polar(fiirad,abs(F));
title('Hatusta vedetty säteilykuvio');

end

% --- Executes just before horisont2 is made visible.
function horisont2_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 horisont2 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for horisont2
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes horisont2 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = horisont2_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;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function elem_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject handle to elem (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
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function elem_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to elem (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 elem as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of elem as a double

elem = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(elem)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorlg('Syötteen täytyy olla numero','Virhe');
end

data = getappdata(gcf, 'metricdata');
data.elem = elem;
setappdata(gcf, 'metricdata', data);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function alfa_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to alfa (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
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function alfa_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to alfa (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 alfa as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of alfa as a double

alfa = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(alfa)
    set(hObject, 'String', 0);

```

```

    errordlg('Syötteen täytyy olla numero','Virhe');
end

data = getappdata(gcbf, 'metricdata');
data.alfa = alfa;
setappdata(gcbf, 'metricdata', data);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function aa_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to aa (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
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function aa_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to aa (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 aa as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of aa as a double

aa = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(aa)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Syötteen täytyy olla numero','Virhe');
end

data = getappdata(gcbf, 'metricdata');
data.aa = aa;
setappdata(gcbf, 'metricdata', data);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function freq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to freq (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
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function freq_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to freq (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 freq as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of freq as a double

freq = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(freq)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Syötteen täytyy olla numero','Virhe');
end

data = getappdata(gcbf, 'metricdata');
data.freq = freq;
setappdata(gcbf, 'metricdata', data);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function beta_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to beta (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
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function beta_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to beta (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 beta as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of beta as a double

beta = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(beta)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorDlg('Syötteen täytyy olla numero','Virhe');
end

data = getappdata(gcbf, 'metricdata');
data.beta = beta;
setappdata(gcbf, 'metricdata', data);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function bb_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to bb (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
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function bb_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to bb (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 bb as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of bb as a double

bb = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(bb)
    set(hObject, 'String', 0);
    errorlg('Syötteen täytyy olla numero','Virhe');
end

data = getappdata(gcf, 'metricdata');
data.bb = bb;
setappdata(gcf, 'metricdata', data);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

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

set(hObject, 'String', {'Kathrein', 'Hatusta'});

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = get(hObject,'String') returns popupmenu1 contents as cell array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1

```