



TEKNIikka JA LIIKENNE

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

ANTENNIT 2,4 GHz:N, 3,5 GHz:N JA 5,5GHz:N LANGATTOMISSA JÄRJESTELMISSÄ

**Työn tekijä: Nelli Piikkilä
Työn ohjaaja: Antti Koivumäki**

Työ hyväksytty: __. __. 2010

**Antti Koivumäki
yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä insinööriö on tehty yliopettaja Antti Koivumäen ohjauksella Metropolia Ammatti-korkeakoulussa.

Kiitän yliopettaja Antti Koivumäkeä insinööriöön aiheesta, työn aikaisesta ohjauksesta sekä mahdollisuudesta tehdä antennien mittauksia koulun laboratoriossa.

Haluan myös kiittää kurssitoveriani Soile Sallista mahdollisuudesta käyttää apuna päättö-työssäni hänen insinööriönään tekemää antennien tietokoneohjattua mittausjärjestel-mää.

Helsingissä 10.5.2010

Nelli Piikkilä

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Nelli Piikkilä	
Työn nimi: Antennit 2,4 GHz:n, 3,5 GHz:n ja 5,5 GHz:n langattomissa järjestelmissä	
Päivämäärä: 10.5.2010	Sivumäärä: 37 s. + 9 liitettä
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn ohjaaja: Antti Koivumäki, yliopettaja	
<p>Radiotekniikkaa opiskellessa mitataan usein valmiita antennejä laboratorio-olosuhteissa ja tällöin saattaa opiskelijoilla jäädä antennien rakenteesta ja toiminnasta vain pintapuolinen ja vaikeaselkoinen kuva.</p> <p>Tämän työn tarkoituksen on kuvata itse tehdyn antennin suunnittelua, rakentamista ja mittausta, antennien mittausta varten olevalla Agilent VEE –ohjelman pohjalta tehdyllä tietokoneohjatulla mittausjärjestelmällä. Suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvät ongelmat kuvataan helppotajuisesti ja saadut tulokset käydään läpi tarkkaan, jotta saadaan kuva siitä, minkälaisia vaiheita toimivan antennin rakentamisessa tulee vastaan.</p> <p>Työn alussa käydään läpi langattomien järjestelmien historiaa ja tämän työn taustoihin vaikuttavaa teoriaa. Teoriaosuudessa tutustutaan langattomaan tiedonsiirtoon ja langattomiin järjestelmiin sekä niiden etuihin ja haittapuoliin. Syvemmin tarkastellaan langattomia järjestelmiä WLAN- ja WiMAX-ympäristöjen kautta.</p> <p>Työssä kuvaillaan kahden itse tehdyn antennin; aaltoputkiantennin, joka on valmistettu säilyketölkistä, sekä dipoli-antennin, joka on valmistettu kakkuvuoasta, valmistuksen vaiheita alun suunnittelusta lopullisiin mittauksiin. Antennien suunnittelussa on hyödynnetty internetistä löytyviä ohjeita. Lopussa pohditaan mahdollisia ongelmakohtia ja sitä, kuinka antennien toimintaa olisi saanut parannettua.</p>	
Avainsanat: WiMAX, WLAN, aaltoputkiantenni, dipoli-antenni, langaton järjestelmä	

ABSTRACT

Name: Nelli Piikkilä	
Title: Antennas in 2,4 GHz, 3,5 GHz and 5,5 GHz Wireless Systems	
Date: 10.5.2010	Number of pages: 37. + 9 appendix
Department: Information Technology	Study Programme: Telecommunications
Instructor and Supervisor: Antti Koivumäki, senior lecturer	
<p>When studying radio technology, factory-made antennas are usually measured in laboratory conditions. In that case students may have only superficial information about the structure and action of antennas.</p> <p>The purpose of the present study was to describe the design, developing and measuring fo self-made antennas, with Agilent VEE –program based computer controlled measurement system developed for antenna measuring. Problems related to designing and developing antennas are described in an easy to understand way and the results received are presented and explained so that the reader can get an understanding of the stages in antenna developing.</p> <p>The study starts with the history of wireless systems and theory on which the study is based. The theoretical framework familiarizes the reader with wireless data transmission and systems and also theirs pros and cons. Wireless systems are considered deeper through WLAN and WiMAX environments.</p> <p>The study describes two self-made antennas; Waveguide-antenna, which is developed with a can and dipole-antenna, which is developed with a cake tin, manufacturing from the beginning of designing to the final measuring of the antenna. Precepts which are available in the Internet are piggybacked with antenna designing. Finally black spots are considered and also wondered how it would be possible to improve the operation of the antennas.</p>	
Keywords: WiMAX, WLAN, Waveguide-antenna, dipole-antenna, wireless system	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	LANGATTOMIEN JÄRJESTELMIEN TEORIAA	2
2.1	Langattomien järjestelmien hyödyt ja haitat	3
2.2	Langattoman tiedonsiirron historiaa	4
2.3	WLAN	6
2.3.1	<i>WLAN-standardit</i>	7
2.3.2	<i>WLAN-antennit</i>	9
2.4	WiMAX	13
2.4.1	<i>Haasteet ja käyttökohteet</i>	14
2.4.2	<i>WiMAX-verkot Suomessa ja muualla</i>	15
2.5	Muita langattomia järjestelmiä	17
2.5.1	<i>Infrapuna</i>	17
2.5.2	<i>Bluetooth</i>	17
2.5.3	<i>GPRS</i>	18
2.5.4	<i>Wibree</i>	18
2.5.5	<i>UMTS (3G)</i>	18
2.5.6	<i>EDGE</i>	19
2.5.7	<i>WUSB</i>	19
3	ANTENNIN SUUNNITTELU	20
3.1	Aaltoputkiantenni säilyketölkistä	20
3.2	WLAN-antenni kakkuvuoasta	22
4	ANTENNIN VALMISTUS	27
4.1	Aaltoputkiantennin rakennus	27
4.2	Kakkuvuoka-antennin rakennus	29
5	ANTENNIN MITTAUKSET	32
6	TULOKSET	34
7	PÄÄTELMÄT	34

LIITTEET

Liite 1. Aaltoputkiantennin paluuvaimennus

Liite 2 Kakkuvuoka-antennin paluuvaimennus suojakuvun kanssa

Liite 3. Kakkuvuoka-antennin paluuvaimennus ilman suojakupua

Liite 4. Aaltoputkiantennin säteilykuvio - Pystypolarisaatio 10 väliä

Liite 5. Aaltoputkiantennin säteilykuvio - Pystypolarisaatio 5 väliä

Liite 6. Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio - Pystypolarisaatio ilman suojakupua

Liite 7 . Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio - Vaakapolarisaatio ilman suojakupua

Liite 8. Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio - Pystypolarisaatio suojakuvun kanssa

Liite 9. Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio - Vaakapolarisaatio suojakuvun kanssa

SYMBOLILUETTELO

AES	Advanced Encryption Standard
ATM	Asynchronous Transfer Mode
Balun	Balanced – unbalanced
CCK	Complement Code Keying
DSSS	Direct Sequency Spread Spectrum
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EGPRS	Enhanced GPRS
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPRS	General Packet Radio Service
HiperLAN	High Performance Radio Local Area Networks
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	Infrared Data Association
ISM-kaista	band for the Industrial, Scientific and Medical use
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	multiple-input, multiple-output
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
PBCC	Packet Binary Convolutional Coding
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
Spacing	dipolin etäisyys nurkkarefektorin nurkasta
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UWB	Ultra Wideband
VoIP	Voice Over Internet Protocol
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	Wi-Fi Protected Access
WUSB	Wireless Universal Serial Bus

1 JOHDANTO

Radiotekniikkaa opiskellessa mitataan usein valmiita antennejä laboratorioolosuhteissa. Tässä työssä tutkitaan antennitekniikkaa suunnittelemalla, rakentamalla ja mittaamalla kaksi toimivaa antennia.

Teoriaosuudessa tutustutaan langattomien järjestelmien teoriaan sekä niiden hyöty- ja haittapuoliin. Langattomien järjestelmien historiaa käsitellään omassa kappaleessaan lyhyesti esihistorialliselta ajalta tähän päivään. Tarkemmin tutustutaan WLAN- ja WiMAX-järjestelmiin sekä niiden toimintaan ja standardeihin. Muihin yleisimpiin langattomiin järjestelmiin tutustutaan vain pintapuolisesti.

Työssä suunnitellaan kaksi antennia, jotka toimivat 2,4 GHz:n ympäristössä, internetistä saatujen ohjeiden pohjalta [24; 25]. Suunnittelussa otetaan huomioon antennien rakentamisessa käytettävissä olevien materiaalien osuus ja rajaavuus.

Antennit rakennetaan suunnitelman mukaan säilyketölkistä sekä kakkuvuosta. Säilyketölkistä tehdään aaltoputkiantenni ja kakkuvuokaan lisätään dipoli, jolloin siitä saadaan dipoli-antenni. Antenneissa käytetyt materiaalit ovat helposti saatavilla olevia, paitsi N-liitin, joka pienellä etsimisellä saatiin hankittua. Antennien rakennus tehdään kotikonstein yksinkertaisilla työkaluilla.

Alkuperäinen ajatus oli rakentaa toinen antenni lähettäväksi ja toinen vastaanottavaksi antenniksi. Mittauksissa molemmat antennit mitataan vastaanottavina antennina, koska mittaukset tehtiin Agilent VEE -ohjelman pohjalta tehdyllä tietokoneohjatulla mittausjärjestelmällä, joka on Soile Sallisen insinööriö [26]. Tietokoneohjatussa mittausjärjestelmässä on lähettävä antenni valmiiksi.

Itse tehtyjen antennien tuloksia verrataan lopuksi siihen, minkälaisia tuloksia antennien tulisi antaa tietyllä taajuudella ihanteellisessa tapauksessa ja vähintään. Lopussa pohditaan myös sitä, millaisilla toimenpiteillä antenneista olisi saatu toimivampia ja mitä muutoksia niihin tulisi ehdottomasti tehdä.

2 LANGATTOMIEN JÄRJESTELMIEN TEORIAA

Langattomat yhteydet yleistyvät, koska ne eivät sido käyttäjiä tiettyihin paikkoihin tai käyttöaikoihin. Johdollisten yhteyksien rinnalle on kehittynyt laaja joukko langattomia liikennetarkoituksia. Mikroaaltopohjaisessa tietoliikenteessä langattomuutta on käytetty jo vuosia viestintäsateelliittien kautta paikasta toiseen. 1990-luvun loppupuolella langattomien lähiverkkojen käytössä tapahtui murros ja alkuvaiheessa olleet useat suljetut protokollat ja eri verkot eri käyttötarkoituksiin korvautuivat standardeilla, joista eniten käytetyt ovat IEEE 802.11 (2 Mbps, toimistokäyttöön), HomeRF (2 Mbps, kotikäyttöön) ja IEEE 802.11b (11 Mbps), joka standardoitiin vuoden 1999 lopussa (IEEE tarkoittaa Institute of Electrical and Electronics Engineers). Tämän jälkeen suuria määriä edullisia tuotteita eri valmistajilta alkoi saapua myyntiin vuoden 2000 puolivälissä. [1; 2]

Langaton lähiverkko on yleensä viimeinen linkki lähiverkon ja käyttäjän välillä ja se käyttää radioaaltoja tiedonsiirtoon. Runkoverkkona langaton lähiverkko käyttää kaapeleita. Nykyisin suosituin lähiverkko on standardiksi muodostunut WLAN (Wireless Local Area Network), jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää ilman kaapeleita. Useimmiten WLAN-termiä käytetään tarkoittamaan IEEE 802.11 -standardia, mutta myös ETSI:n (European Telecommunications Standards Institute) HiperLAN-standardia (High Performance Radio Local Area Networks)) on langaton lähiverkko. HiperLAN-standardin eri versiot eivät ole yleistyneet poliittisten ja markkinasyiden takia, joten käytännössä WLAN tarkoittaa nykyään 802.11:tä. [1; 2]

Yli 2 GHz:n taajuuksia nimitetään mikroalloiksi, ja ne muodostavat oman alueensa langattomassa tiedonsiirrossa. Useimmat lähiverkot toimivat 2,4 GHz:n alueella ja niiden nopeudet ovat parhaimmillaan jopa 22 Mbps. Langattomiin lähiverkkoihin perustuva infrastruktuuri vaatii kuitenkin tukiasemia lähes sadan metrin välein, mikä vaikeuttaa niiden yleistymistä yritysten ja kotien ulkopuolella. Kuitenkin langattomista järjestelmistä kaikkein suurimmat odotukset ovat lähiverkkojen kohdalla. Nykyisin langaton teknologia pystyy helposti kilpailemaan hinnoilla johdollisten teknologioiden kanssa, ja sen käyttö on tämän myötä suuresti lisääntynyt. [1]

IEEE 802.11b -standardi toimii lupavapaalla ISM-taajuusalueella (band for the Industrial, Scientific and Medical use) taajuudella 2,45 GHz. Tämän

standardin tuotteita on käytössä paljon toimistoissa, kodeissa ja julkisissa asennuksissa kuten kahviloissa ja kirjastoissa. 2,45 GHz:n taajuusalue eli 2,4 - 2,4835 GHz:n taajuusalue on yhteistaajuusaluetta, jonka käyttö on sallittu jokaiselle yhtäläisillä oikeuksilla. Taajuusalueen suurin sallittu lähetysteho on 100 mW eli 20 dBm, mikäli antennin vahvistus on yksi eli 0 dB. 100 mW EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) on lähettimen lähetystehon (dBm tai dBW) ja antennivahvistuksen (dB) summa, ja se kertoo, kuinka suuri lähetysteho tarvittaisiin saman kentänvoimakkuuden saavuttamiseksi, mikäli lähetysantenni olisi isotrooppinen. Antennin suuntaavuutta parantaessa, sen lähettämä teho kohdistuu pienemmälle alueelle eli sen lähetysteho vahvistuu. [1; 3]

IEEE 802.11:a on standardi, joka toimii myös lupavapaalla ISM-alueella 5 GHz:n taajuudella. Se mahdollistaa jopa 54 Mbps:n nopeudet. Suomessa Viestintävirasto on rajoittanut 5 GHz:n toimintataajuusalueet eurooppalaisen ATM-tyylisen (Asynchronous Transfer Mode) teknologian HiperLANin mukaisesti. 802.11a-standardin mukaisia laitteita on sallittua käyttää taajuusalueella 5,15 - 5,35 GHz. Laitteiden käyttö on rajoitettu ainoastaan sisätiloihin ja suurin sallittu lähetysteho on 200 mW. [2; 7; 3]

2.1 Langattomien järjestelmien hyödyt ja haitat

Langaton tiedonsiirto tarjoaa ihmisille mahdollisuuden liikkua työn ääressä ja vapaa-ajalla. Siitä voi olla apua onnettomuustilanteissa tai muissa poikkeustilanteissa. Se mahdollistaa erilaisen ihmisten välisen kanssakäymisen kuin langallinen tiedonsiirto.

Langattomuus mahdollistaa korkean palvelutason sekä luotettavuuden ja entistä vapaamman kilpailun myös taajamien ulkopuolella asuville. Langattoman tiedonsiirtoverkon rakentaminen ja laajentaminen on helppoa ja halvempaa kuin langallisessa. Langatonta tiedonsiirtoa varten ei tarvitse vetää kilometreittäin johtoa syrjäseuduille. Sähköisen tiedonsiirtotarpeen kasvaessa riittävän kantaman antava radiomasto on pidemmän päälle kannattava investointi.

Langattomat järjestelmät vaativat langallista vähemmän tilaa, joten tiheään asutuissa taajamissa langattomuus on melkein välttämätöntä. Langatonta järjestelmää ei rakennusten suunnittelussa tarvitse ottaa huomioon, koska

se vaatii vähemmän tilaa kuin kaapelit. Vanhoissa rakennuksissa johdotus voi olla yllättävän kallista tai mahdotonta.

Palveluntarjoajien välillä kilpailu langattomassa verkossa on vapaampaa kuin kaapeliverkossa. Kilpailevat palveluntarjoajat voivat käyttää samoja mastoja, ja käyttäjä voi vaihtaa palveluntarjoajaa todella helposti. Kova kilpailu langattomien tuotteiden markkinoilla taas alentaa järjestelmien hintoja, mikä on etuna käyttäjille.

Kaikissa järjestelmissä on kuitenkin myös omat haittapuolensa. Langattomissa järjestelmissä suurimmat ongelmat ovat hitaus ja heikompi tietoturva.

Langattomassa tiedonsiirrossa on mahdollista, että taajuudeltaan toisiaan lähellä olevat signaalit häiritsevät toisiaan, koska langaton tieto siirretään ilmassa sähkömagneettisena säteilynä. Tätä kutsutaan interferenssiksi. Näitä häiriöitä säätelemään ja poistamaan ovat radiomääräykset, joiden mukaan liikennettä ei saa olla samalla alueella liian lähekkäisillä taajuuksilla. Tosin tiedonsiirtoon sopivimmat taajuudet täyttyvät nopeasti.

Langaton verkko on altis ulkopuolisten tahalliselle häirinnälle ja se voi ottaa häiriöitä myös tahattomista lähteistä. Signaalien kulkua saattavat estää myös korkeat mäet, lumi, rakennukset yms. Kannettavat laitteet ovat yleensä kevyitä, mutta niiden on toimittava pitkiäkin aikoja itsenäisesti, poissa verkko-ovirrasta. Tämä on laitteenvalmistajille iso haaste.

2.2 Langattoman tiedonsiirron historiaa

Jo esihistoriallisella kaudella viestejä välitettiin pitkien välimatkojen ja olemattomien teiden vuoksia tulen, savun ja peilien avulla, ja merillä käytettiin lippuviestintää. 1800-luvulla eläneet tiedemiehet, kuten James Clark Maxwell teoriallaan valon sähkömagneettisesta aaltoliikkeiden muodosta, ovat vaikuttaneet monin tavoin langattoman tiedonsiirron syntyyn. [8]

Maxwellin yhtälöt ovat radion ja television perusta. Maxwell julkaisi teorian sähkömagneettisesta aaltoliikkeestä vuonna 1873. Maxwellin yhtälöiden avulla kuvataan sähköisten ja magneettisten kenttien käyttäytymistä ja vuorovaikutusta. Maxwellin yhtälöt ovat radion ja television perusta, ja niiden avulla voidaan myös tutkia muun muassa röntgen-, gamma- ja infrapunasäteilyä. [8]

Perustuen ns. Maxwellin yhtälöihin Heinrich Hertz todisti ensimmäisenä maailmassa elektromagneettisten aaltojen olemassaolon synnyttämällä kipinän vastaanottimessa muutaman metrin päässä 600 MHz:n lähettimellään. Tätä alkeellista koetta pidetään langattoman tiedonsiirron syntyhetkenä. Värähtelyn mittayksikkö Hz on saanut nimensä Hertziltä. [8]

Aleksandr Popov oli nykytiedon mukaan ensimmäinen, joka muodosti radioyhteyden kahden pisteen välillä, mutta kunnia tästä saavutuksesta on aiemmin annettu Guillermo Marconille, italialaiselle insinöörille. Marconi pystyi muodostamaan radioyhteyden muutaman kilometrin päähän vuonna 1895 ja vuonna 1901 suoritettiin Marconin toimesta ensimmäinen langaton yhteys Atlantin yli. Ensimmäisen radiotehtaan hän perusti jo vuonna 1898, ja se työllisti 50 henkilöä. Marconia kutsutaan usein ”radion isäksi”, koska tästä eteenpäin kaupallinen kehitys kasvoi nopeasti ja langattomia järjestelmiä asennettiin paljon muun muassa valtamerialuksiin. [8]

Radion patentti kuuluu nykyään Nikola Teslalle (1856–1943), joka patentoi Marconin kanssa samana vuonna omia radioon liittyviä keksintöjään. Radiokokeilujen perustana voidaan pitää kohereeria, joka on rakennettu lasiputkesta, jonka päissä on elektrodit ja keskellä metallijauhetta. Kohereeriin johdetaan jännite ja antennin kautta saatavan jännitepiikin avulla kohereeri aktivoituu. Sen seuraajana toimi elektroniputki, joka on lasi- tai teräsputki, jossa on tyhjiö tai joka on täytetty jalokaasulla. Lisäksi siinä on katodi, anodi ja mahdollisesti hila tai useampia hiloja. [8]

Elektroniputkien jälkeen kehitettiin transistorit ja diodit. Transistoria pidetään yhtenä 1900-luvun merkittävimmistä keksinnöistä. Ensimmäinen transistori on valmistettu 1947 ja teollinen valmistus alkoi 1951. Sekä transistorit että diodit ovat puolijohdekomponentteja. Diodin tehtävänä on suojella komponentteja rikkoutumiselta. Mikropiirit, joista ensimmäiset kehitettiin 1960-luvulla, sisältävät useita transistoreja ja diodeja, pääasiassa transistoreja. Yhdellä mikropiirillä on miljoonia transistoreja. [8]

Nykyään langaton tiedonsiirto on arkipäivää ja kehitys viimeisen kymmenen vuoden aikana on ollut nopeaa. Komponenttien kehitys on mahdollistanut kehittyneempien laitteiden tekemisen ja mikropiirin voidaan sanoa olevan esimerkiksi matkapuhelinten, digi-TV:n ja laajakaistayhteyksien kehityksen takana. Tulevaisuuden haasteina ovat hyvin rajallisen ilmarajapinnan teho-

kas jakaminen sekä pienemmällä teholla parempaan suorituskykyyn pystyvien tekniikoiden kehittäminen. [8]

Tulevaisuuden langattoman tiedonsiirron ajatellaan tekniikan puolesta rakentuvan kolmesta osasta: matkaviestinverkoista, langattomasta lähiverkosta WLANista ja Bluetoothista. Matkaviestinverkot mahdollistavat tiedonsiirron kaikkialle. Langatonta lähiverkkoa käytetään, kun tarvitaan tiedonsiirtoa muutaman kymmenen metrin säteellä esimerkiksi paikallaan pysyvien tietokoneiden, tulostimien ja muitten laitteiden kytkemiseksi samaan lähiverkkoon tai Internetiin. Bluetoothia ja muita vastaavia pienten etäisyyksien tiedonsiirtotekniikoita käytetään yksittäisten laitteiden välillä. [9]

2.3 WLAN

WLAN (Wireless Local Area Network) on langaton lähiverkko, jolla erilaiset verkkolaitteet voidaan yhdistää ilman kaapeleita, ja tiedonsiirto tapahtuu kaapelien sijaan ilmassa. WLAN-termiä käytetään yleisesti tarkoittamaan IEEE 802.11 -standardia. [8]

WLAN-verkkoa käytetään paikoissa, joissa kaapelointi on erittäin hankalaa tai jopa mahdotonta, kuten vanhoissa suojelluissa rakennuksissa. Nykyisin langattoman lähiverkon käyttö on kuitenkin yleistynyt nopeasti muuallakin. WLAN-asennukset ovat myös halpoja, koska ne koostuvat ainoastaan tukiasemista ja runkoverkkoasennuksista. Viimeinen osa verkosta kulkee ilmassa. [2]

Kunnat ovat avanneet avoimia verkkoja kunnan taajamiin, kirjastoihin sekä kouluihin, ja julkisissa kulkuneuvoissakin on mahdollista käyttää langatonta yhteyttä. Pendolino-junissa on tammikuussa 2010 otettu käyttöön langattomat internetyhteydet, jotka edesauttavat internetin käyttäjien verkon toimivuutta. Useat käyttäjät ovat kärsineet aiemmin yhteyden katkeiluista, koska nopeasti etenevissä junissa matkapuhelinverkon tukiasemien vaihto tapahtuu tiheästi. Monet elinkeinoharjoittajat, kuten ravintoloitsijat ovat alkaneet tarjota WLAN-yhteyttä maksutta asiakkailleen. Työpaikoilla esimerkiksi toimistoissa, joissa ihmiset liikkuvat paljon kannettavien tietokoneiden kanssa, WLAN-yhteys on lähes ehdoton edellytys.

Langattomien WLAN-yhteyksien haasteena on niiden pieni lähetysteho, joka on maksimissaan 100 mW. Verkon kantama ei riitä kovinkaan pitkälle, jos näköyhteyden tiellä on seiniä tai vaikkapa puita. Rankkasateet ja kovat lumipyryt saattavat aiheuttaa ongelmia tiedonsiirtonopeuksien kanssa. Ympäristössä on myös muita häiriölähteitä, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia WLAN-verkossa, kuten mikroaaltouunit 2,4 GHz:n taajuudella. [10]

2.3.1 WLAN-standardit

WLAN-tekniikan kehittäminen perustuu tarpeeseen kehittää tietoturallinen tiedonsiirtomenetelmä, joka ei ole altis sähkömagneettiselle säteilylle. Langattoman lähiverkon kehitys alkoi vuonna 1990 IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardointiryhmän toimesta. Seitsemän vuotta myöhemmin ryhmä julkaisi valmiin 802.11-standardin, joka loi puutteistaan huolimatta perustan tuleville määrittelyille. [11; 12]

802.11-standardille on määritelty kolme erilaista siirtotietä: 2,4 GHz:n taajuusalueita käyttävä FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), 900 MHz:n ja 2,4 GHz:n taajuusalueita käyttävä DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) sekä 820 nanometrin infrapuna-alue. 802.11-standardi käyttää siirtotienä radioaaltoja ja infrapunavalvoja, jota ei enää tueta myöhemmissä standardin laajennuksissa siirtonopeuden kasvettua. 802.11-standardin historia jäi lyhyeksi, sillä se ei kyennyt kuin 1 ja 2 Mbps -siirtonopeuksiin, joten IEEE alkoi kehittää uutta standardia. [10; 11; 12]

Vuonna 1999 julkaistiin 802.11b-standardi, joka kykenee 11 Mbps teoreettiseen siirtonopeuteen. Se käyttää hyväkseen ilmaista 2,4 - 2,483 GHz:n taajuusalueita, jota kutsutaan myös ISM-kaistaksi (band for the Industrial, Scientific and Medical use). 802.11b-standardissa on määritelty myös 5,5 Mbps-nopeus sekä jo 802.11-standardista tutut 1 ja 2 Mbps -siirtonopeudet. 802.11b-standardista on olemassa myös +-versio, 802.11b+, joka eroaa b-versiosta ainoastaan siirtonopeutensa puolesta, joka on kaksinkertainen 802.11-standardiin verrattuna. [10]

802.11a-standardi käyttää hyväkseen U-UNI-taajuuksia: 5,15 - 5,25 GHz ja Yhdysvalloissa 5,25 - 5,35 GHz ja perustuu OFDM-kanavanjakotekniikkaan (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Se julkaistiin vuoden 1999 alussa. Standardi pystyy teoriassa jopa 54 megabitin siirtonopeuteen sekunnissa DSSS-tekniikan avulla, mutta on yhteensopiva myös 6, 9, 12, 18, 24,

36 ja 48 Mbps -nopeuksiin. 802.11a-standardin esteenä kuitenkin oli erittäin lyhyt kantoalue sekä korkea hinta, jonka takia laitteita ei markkinoilla juuri-kaan nähty. [10]

Vuonna 2003 julkaistu 802.11g-standardi pystyy maksimissaan 802.11a-standardin tapaan 54 Mbps:n siirtonopeuteen, mutta 2,4 GHz:n alueella. Lisäksi se on täysin yhteensopiva aikaisemman 802.11b-standardin kanssa, mitä 802.11a-standardi ei ollut. 802.11g-standardi on risteytys 802.11a- ja 802.11b-standardeista, koska se käyttää tiedonsiirtoon CCK-OFDM – tekniikkaa (Complement Code Keying - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ja tarjoaa vaihtoehtoiseksi siirtotavaksi PBCC-tekniikan (Packet Binary Convolutional Coding). 802.11g-standardi on käytännössä syrjäyttänyt vanhemman 802.11b-standardin yleisessä käytössä. [10; 4]

802.11e-standardi, joka on julkaistu vuonna 2005, sisältää toimintoja verkon palvelunlaadun (QoS Quality of Service) kehittämiseksi. 802.11e-standardi on suunnattu enimmäkseen multimedialiikennettä varten, jossa verkon viiveet pyritään minimoimaan. Tällaista multimedialiikennettä on esimerkiksi VoIP (Voice over Internet Protocol). Verkossa aiheutuu viivettä, kun tukiasemilta on päällekkäistä liikennettä, jolloin tukiasema odottaa hetken ennen uudelleenlähetystä. 802.11e-standardin mukaisessa verkossa osa tukiasemista voidaan merkitä lähettämään korkeamman kiireellisyysasteen liikennettä, jolloin käytännössä odotusaika ennen uudelleenlähetystä on pienempi, mikä vähentää verkkoviivettä näiden tukiasemien kautta. [4]

802.11f-standardi (käytössä vuosina 2003–2006) oli suositus eri valmistajien laitteiden yhteensopivuuden parantamiseksi. Se oli tarkoitettu tilanteisiin, joissa samassa verkossa on monen eri valmistajan tukiasemia ja langaton laite liikkuu alueella tukiasemalta toiselle. Tätä standardia ollaan korvaamassa 802.11k- ja 802.11r-standardeilla. [4]

802.11d-standardi (julkaistu vuonna 2001) sisältää uusia kenttiä tukiasemien levitysviesteihin, joilla kerrotaan laitteen sijaintimaa. Langaton laite osaa itse valita tämän standardin mukaan taajuuskaistan, jota kyseisen tukiaseman alueella on luvallista käyttää. [4]

Vuonna 2004 julkaistu 802.11h-standardi pohjautuu 802.11a-standardiin. Se sisältää muutoksia 5 GHz:n taajuusalueella toimiville langattomille laitteille Euroopassa, jossa aikaisemmin kyseinen taajuus oli varattu muun muassa

satelliittiliikennettä varten. Lisäksi siinä on tuki älykkäämmälle taajuusalueen vaihdolle, mikäli käytetty kanava on häiriöinen, sekä langattomien laitteiden virransäästöominaisuuksille. [4; 10]

802.11i-standardissa on kehitetty varsinkin tietoturvaa ja salaus hoidetaan erillisellä prosessorilla. 802.11i-standardissa on tarjolla samat ratkaisut kuin aiemmalla WPA-standardilla (Wi-Fi Protected Access), mutta lisäksi valittavana on kokonaan uudenlainen salausmekanismi AES (Advanced Encryption Standard). [10]

802.11s-standardi sisältää tuen niin sanotun Wireless mesh -verkkojen rakennukseen tukiasemien välillä. Standardi ei ole vielä valmis, mutta IEEE arvioi julkaisevansa sen heinäkuussa 2010. Tästä huolimatta käytössä on laitteita, jotka sisältävät jo 802.11s-standardin tuen alustavan toteutuksen. Sillä saadaan tietokoneet verkkoon ilman tukiasemia tai muuta normaalia verkkoinfrastruktuuria. [4]

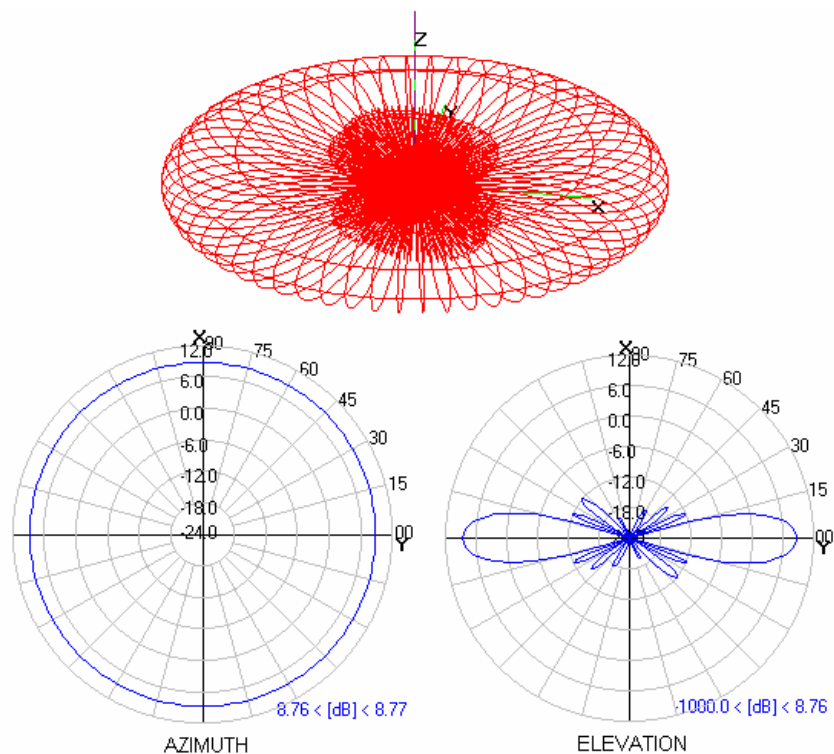
IEEE standardoi 802.11n-standardin 11. syyskuuta 2009. Sen tarkoituksena on parantaa WLANin suorituskykyä aiempiin standardeihin, kuten 802.11a ja 802.11g, verrattuna. Standardi on taajuusyhteensopiva joko toisen tai molempien aiempien standardien kanssa, mutta yhteensopivuustilassa nopeus on tietenkin vanhan standardin nopeus. 802.11n määrittää suurimmaksi bruttonopeudeksi 600 Mbps. Todellisuudessa se käyttää noin 100–200 Mbps:n nopeutta, jolloin nopeus on samansuuruinen kuin perinteisellä 100 Mbps Ethernet-kaapelilla. 802.11n-standardi tukee MIMO-tekniikkaa (multiple-input, multiple-output), jossa käytetään useampaa antennia ja useampaa ilmatien kanavaa yhtä aikaa. Uusi MIMO-tekniikka antaa tasaisemman kantaman ja mahdollistaa useat ilmakeinavat. [4]

2.3.2 WLAN-antennit

WLAN-tuotteissa käytettävien antennien toimintaperiaate on se, että ne muuttavat sähköenergiaa sähkömagneettiseksi säteilyksi. Samaa antennia käytetään sekä lähetykseen että vastaanottoon. Antenni muuttaa myös vastaanotettua säteilyä sähköiseksi signaaliksi. Kaikkien antennien suuntakuviot ovat epäsymmetrisiä eli lähetetty teho yhteen suuntaan on suurempi kuin toiseen. Siksi lähetetty teho ei ole koskaan tasainen joka suuntaan. [13]

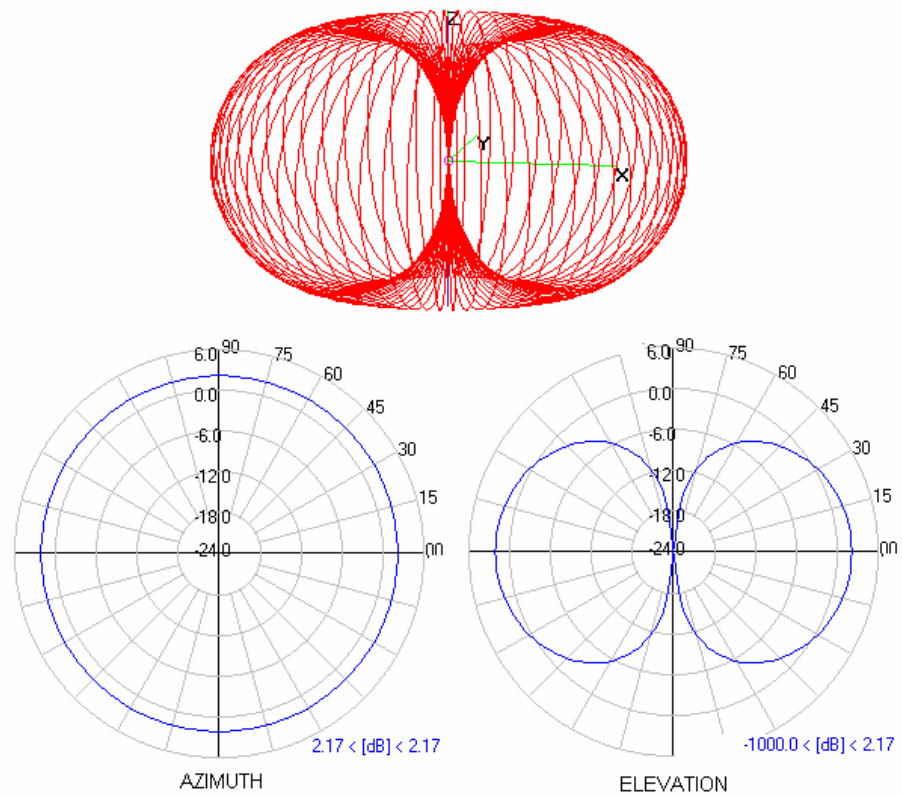
Yleisimmin käytössä olevia antennityyppejä ovat ympärisäteilevä antenni, suunta-antenni, dipoli-antenni, sektoriantenni ja heijastinantenni. Nykyisin ovat yleistyneet myös verkkokorttien sisäiset antennit varsinkin kannettavissa tietokoneissa. [14]

Mikäli tarvitaan mahdollisimman suurta peittoa, niin valitaan ns. ympärisäteilevä antenni. Tavallisimmat ympärisäteilevät antennityypit ovat dipoli-antenni, levyantenni, sauva-antenni ja WLAN-laitteiden sekä sovittimien sisäiset antennit. Tällaisen antennin pystysuuntainen kuvio on kapea ja epäsymmetrinen (kuva 1.). Lähetystehoa ei yleensä haluta tuhjata yläpuolelle, mutta alapuolelle muodostuva katvealue voi olla joissakin tapauksissa haitallinen. Ympärisäteilevät antennit ovat yleisimpiä antennia toimisto- ja kotikäytössä. Ne säteilevät radioaallot tasaisesti joka puolelle antennia tasaisesti. [13; 14]



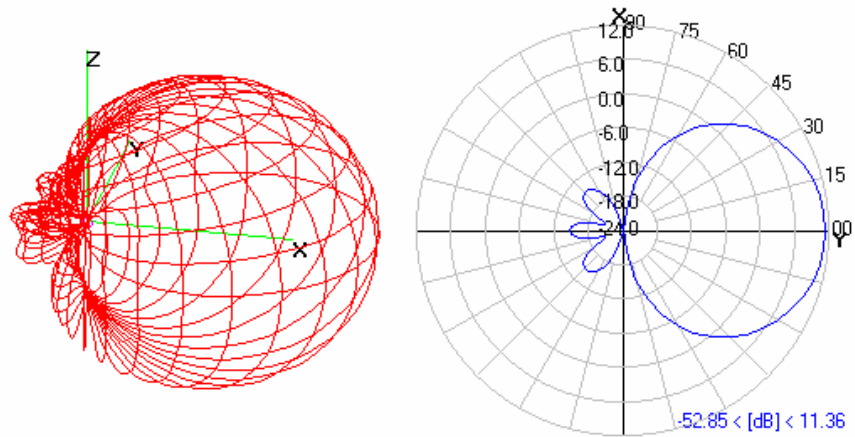
Kuva 1. Ympärisäteilevän antennin säteilykuviot [14]

Yksi tyypillisimmistä ympärisäteilevistä antennista on dipoli-antenni (kuva 2.), jonka pituus on puolen radioaallon pituinen. Dipoli-antennit eroavat ympärisäteilevistä antennista siinä, että niiden z/x -akselille muodostuva kuvio on erilainen kuin ympärisäteilevillä antennilla. Se muodostaa nimensä mukaisesti dipolin eli kaksi keilaa. [13]



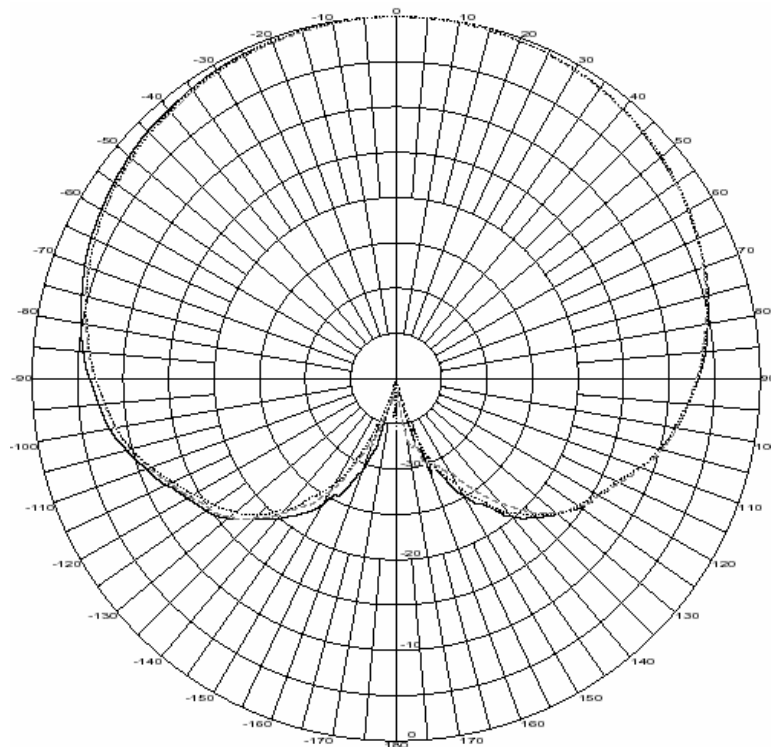
Kuva 2. Dipoli-antennin säteilykuviot [14]

Suunnatuilla antenneilla saadaan suurin lähetysteho haluttuun suuntaan. Suunnattuja antenneja ovat tyypillisesti Yagi- ja heijastinantennit, mutta myös levyantennia voidaan käyttää suuntaavana, jos se on suunniteltu siihen käyttötarkoitukseen. Suunta-antennit (kuva 3.) on tarkoitettu esimerkiksi linkiksi kahden paikalla olevan tukiaseman väliin. Etäisyyksien kasvaessa tehokkaampien antennien käyttö on välttämätöntä ja esteettömän näköyhteyden merkitys kasvaa. Yli 6 kilometrin välimatkoilla on alettava ottaa huomioon myös maan kaareutuminen. Suunta-antennien käyttö on tarpeellista, jos kyseessä on käytävä tai halutaan luoda suora yhteys tukiasemien välille. Suunta-antennien tehokkuus perustuu niiden suuntaavuuteen eli niiden lähettämä teho kohdistetaan pienemmälle alueelle. [14; 27]



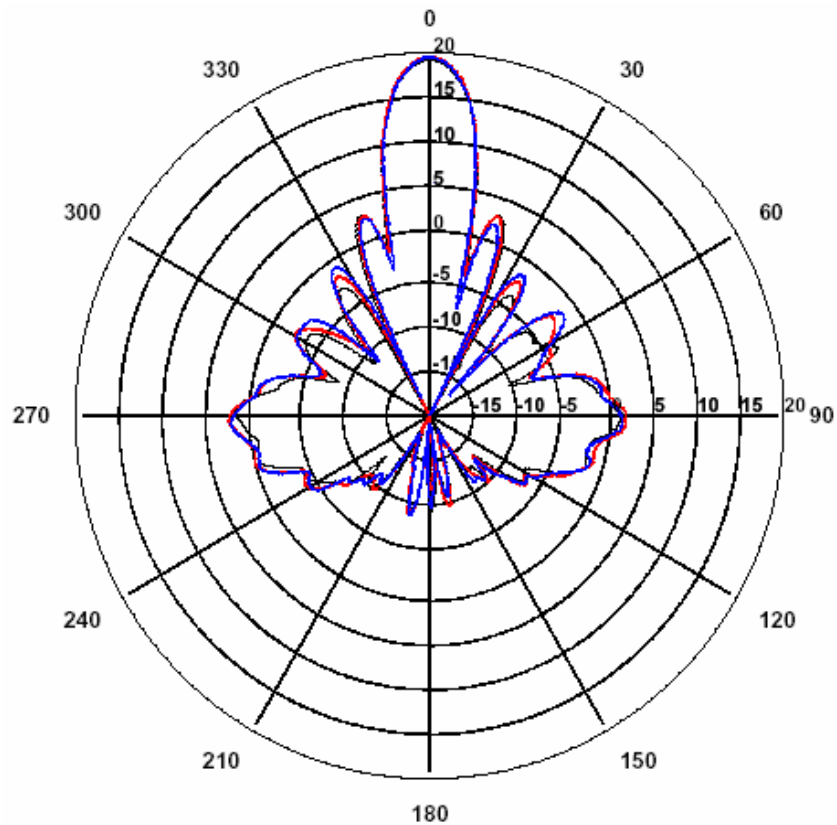
Kuva 3. Suunta-antennin säteilykuviot 3-ulotteisena ja x/y-akseleilla [14]

Sektoriantennit (kuva 4.) on tarkoitettu sektorin muotoisen alueen peittoon ja ne ovat mainioita esimerkiksi rakennuksen nurkka-asennuksiin. [14; 27]



Kuva 4. Sektoriantennin säteilykuvio x/y-akseleilla [15]

Heijastinantennit (kuva 5.) on tarkoitettu mm. pitkien välimatkojen linkkeihin. Niiden suuntakuvio on hieman samanmuotoinen kuin suunta-antenneilla, mutta niiden vahvistus on huomattavasti suurempi. [15; 27]



Kuva 5. Heijastinantennin säteilykuvio x/y-akseleilla [15]

2.4 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) on kehityksen alla oleva langaton laajakaistateknikka, joka on käytännössä kuin WLAN-verkko, mutta huomattavasti laajempi. Se perustuu avoimeen IEEE 802.16 -standardiin, ja se julkaistiin vuonna 2002. Standardia kehitetään edelleen. WiMAX-tekniikan pääasiallinen tehtävä on tarjota langatonta laajakaistaa, jonka kantama on noin 20 - 50 km, käytännössä päästään vain 20 kilometrin etäisyyksiin. WiMAX mahdollistaa paremmat ja joustavammat palvelut. Muut markkinoilla olevat langattomat teknologiat eivät pysty tarjoamaan yhtä suurta kaistanleveyttä, verkon laadunhallintaa (QoS Quality of Service) ja turvallisuutta.[16; 17; 18]

Standardin kehityksestä vastaa WiMAX Forum. WiMAX Forum omistaa WiMAX-tavaramerkin ja valvoo sitä käyttävien laitteiden yhteensopivuutta. WiMax Forumiin kuulu tällä hetkellä n. 520 eri yritystä, joista merkittävimpiä ovat muun muassa Ericsson, Intel, Motorola sekä Nortel Networks. WiMaxin tarkoitus on tarjota kuluttajille kaapelimodeemia tai dsl-liittymää vastaava nopeus, langattomasti.[16; 18]

WiMAX käyttää 2 - 6 GHz:n taajuusalueita ja Suomessa käytetty taajuus on 3,5 GHz, samoin kuin muualla Euroopassa. Yhdysvalloissa käytetään taajuuksia 2,5 GHz sekä 5,8 GHz. Suomessa pääosa operaattoreista, jotka tarjoavat WiMAXia toimii haja-asutusalueella, joille perinteisen langallisen laajakaistan saaminen on ollut mahdotonta tai kohtuuttoman kallista. WiMAXin tarkoitus ei siis ole korvata WLAN-verkkoja, vaan täydentää niitä langattomana laajakaistana. Vuonna 2012 on odotettavissa WiMAX-versio 2, joka lupaa yli 100 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden liikkuville yhteyksille ja 1 Gbit/s tiedonsiirtonopeuden kiinteille yhteyksille. Se lisää nopeutta ja on yhteensopiva aikaisemman version kanssa. [18; 30]

2.4.1 Haasteet ja käyttökohteet

WiMAX-verkon kannalta hankalimpia olosuhteita ovat sumu, vesisade, kuura sekä radioaaltojen etenemistä vaimentava puissa oleva tykkylumi. Sääolosuhteet ovat yleensä ongelma vain antennin kantaman äärirajoilla. Haasteina yleensä antennien sijoittelun kannalta on maaston monimuotoisuus, mäet, puusto ja vesistö. WiMAX-tekniikan etuna on se, ettei suoraa näköyhteyttä tukiaseman ja päätelaitteen välillä välttämättä tarvita. Teoreettinen kantama WiMAX-antennille voi olla optimaalisissa olosuhteissa jopa viisikymmentä kilometriä - käytännössä kolmenkymmenen kilometrin ylittäminen lienee kuitenkin epävarmaa, ja yhteydet yli kahdenkymmenen kilometrin etäisyyksillä vaativat toimiakseen suoran näköyhteyden tukiasemaan. Kai-vinkoneen iskiessä sopivaan kohtaan maassa, katkeavat kaikki lähialueen kupariverkon tai kuituyhteydet. Siihen ei auta, vaikka käytössä olisi usean operaattorin linjat. Operaattorilta voi mennä pahimmillaan päiviä vian korjaamiseen. WiMAX tuo hyvän vaihtoehdon langattomana tekniikkana. [11; 16; 20; 21]

Suuremmissa kaupungeissa on pulaa vapaista taajuuksista, kun taas lupahinnoittelu on selkeästi harvaan asuttuja alueita syrjivää. Hallitusohjelman ja kansallisen laajakaistastrategian periaatteen mukaan "hallitus pyrkii teknologisesti neutraalein viestintäpoliittisin keinoin siihen, että nopeat, alueellisesti kattavat ja käyttäjilleen kohtuuhintaiset tietoliikenneyhteydet ovat kaikkien kansalaisten saatavilla vuoden 2005 loppuun mennessä". Lupakäytäntö on kuitenkin ristiriidassa tämän kanssa. Esimerkiksi Kainuun alueella, jolla asuu n. 85 000 asukasta, taajuusluvan hinta on noin 0,45 € / asukas / vuosi, kun taas samansuuruisella alueella akselilla Tampere - Turku - Helsinki, jolla

asuu jopa 3 000 000 asukasta, luvan hinnaksi tulee ainoastaan noin 0,01 € / asukas / vuosi. [11; 16; 20; 21]

WiMAX on kehitetty tarjoamaan nykyisiä kaapelimodeemi- ja DSL-yhteyksiä liikennöintinopeuksiltaan vastaava langaton verkkoyhteys, jonka käyttö ei ole sidoksissa esimerkiksi rakennuskohtaisiin rajoihin. WiMAX soveltuu erinomaisesti harvaan asutuille seuduille laajan kantoalueensa ja langattomuutensa ansiosta. Se ei ole sidoksissa maaseudulla heikkolaatuisiin ja kalliisiin kupari- tai valokuituverkkoihin. WiMAX sopii erilaisille kohderyhmille ja on saatavilla kaikille, kuten kotitalouksille, kesäasukkaille, yrityksille ja tilapäiskäyttöön. WLAN-verkkoon verrattuna yksittäisen WiMAX-tukiaseman toiminta-alue on huomattavasti laajempi. WiMAX toimii 3,5 GHz:n luvanvaraisella taajuudella, jolla teoreettinen tiedonsiirtonopeus on jopa 75 Mbps, joka jaetaan solun käyttäjien kesken. Haja-asutusalueiden lisäksi samaa tekniikkaa voidaan hyödyntää kokonaisia kaupunkialueita kattavien MAN-verkkojen (Metropolitan Area Network) toteuttamiseen. Tällaisen verkon alueella käyttäjä voisi liikkua solusta toiseen yhteyden katkeamatta. WiMAX voi palvella myös tilapäiskäytössä esimerkiksi rakennustyömailla ja erilaisissa tapahtumissa. Lisäksi WiMAXia voidaan hyödyntää liikkuvassa käytössä esimerkiksi lentoasemilla, kaupunkiverkkoina, leirintäalueilla ja venesatamissa. [11; 16; 20; 21]

2.4.2 *WiMAX-verkot Suomessa ja muualla*

Suomessa on tällä hetkellä noin 15 operaattoria, jotka ovat ottaneet tai ovat ottamassa WiMAX-verkkoja käyttöön. Maantieteellisesti nämä sijoittuvat ympäri Suomea, Turun saaristosta Lappiin. Suurin osa näistä on rakennettu haja-asutusalueille, joilla ei ole ollut aiemmin verkkoinfrastruktuuria. Myös kaupunkeihin on rakennettu jo joitakin verkkoja esimerkiksi Ylivieskaan, Turkuun ja Haminaan. [16; 22; 23]

Suomen suurin ja ensimmäinen standardinmukainen WiMAX-verkko käynnistyi syys - lokakuun vaihteessa 2005 Keuruun, Multian ja Petäjäveden yhteisenä hankkeena. Kolmen kunnan alue katettiin 95 %:sesti WiMAX-verkolla. Verkko oli kokonaan valmis vuoden 2006 maaliskuussa - samaan aikaan, kun ensimmäiset WiMAX-laitteet saivat sertifikaatin. Tällöin verkkoon oli liittynyt n. 300 käyttäjää pääasiassa eri haja-asutusalueilta. [16; 22; 23]

Iniössä on Suomen ensimmäinen koko kunnan kattava langaton laajakaista-verkko. Tämän lisäksi muun muassa Ylivieskan ja koko Kainuun maakunnan alueella on WiMAX-verkot, pääkaupunkiseudulla (SuomiComh) on tarjolla WiMAX yhteyksiä kuluttajille, Mäntän ja Vilppulan alueelle on rakennettu WiMAX-verkot, Turun, Kotkan ja Pyhtään rannikko- ja saaristoalueilla sekä Haminassa on tarjolla kattava WiMAX verkko. Näiden lisäksi myös Etelä-Savon ja Lapin alueella on saatavilla WiMAX-yhteyksiä. [16; 22; 23]

Yhteyksien määrä ylitti miljoonan rajan vuonna 2006. Käyttäjämäärissä tämä tarkoittaa 2 - 3 miljoonaa yksittäistä henkilöä. Määrät ovat kasvaneet vuodesta 2008 alkaen tekniikan tullessa laajasti saataville. Monet suuret laitevalmistajat, kuten Nokia (Nokia N810 WiMAX Edition) ja Motorola ovat aloittaneet WiMAX-standardin mukaisten kannettavien päätelaitteiden suunnittelun ja kehitystyön. Myös Intel on alkanut liittää uusiin kannettaviin tietokoneisiinsa WiMAX-piirisarjan. [16; 22; 23]

WiMAXin kehitystyö on tällä hetkellä kesken ja ensimmäiset kokeiluverkot on pystytetty vuoden 2005 alkupuolella. Muun muassa Pohjanmaalla ja Ruotsin Skellefteåssa testattiin tekniikan toimivuutta muutamia kymmeniä talouksia sisältävien testiverkkojen avulla. Yhdysvalloissa teleoperaattori Sprint Nextel on rakentanut koko Yhdysvallat kattavaa WiMAX-verkkoa. Vuoden 2010 loppuun mennessä Sprintin WiMAX-investointien pitäisi nousta jo viiteen miljardiin dollariin. Operaattorin suunnitelmien mukaan verkko tulisi kattamaan 125 miljoonaa käyttäjää vuoden 2010 loppuun mennessä. WiMAX-yhteyksiä on tällä hetkellä käytössä eniten Aasiassa. Langattomia WiMAX-verkkoja on vuoteen 2010 mennessä rakennettu 147 maahan ja tekniikka on tällä hetkellä 620 miljoonan ihmisen ulottuvilla. Todennäköisesti vuoden 2011 loppuun mennessä verkon peittoalue kattaa jo miljardi ihmistä. [16; 22; 23; 31]

Mobiliteettistandardi IEEE P802.16e mahdollistaa päätelaitteen liikkumisen tukiasemasta toiseen, ja ensimmäiset tämän standardin mukaiset päätelaitteet tulivat markkinoille 2006 - 2007. Matkapuhelinyhtiö Nokia julkisti vuonna 2008 WiMAX-tekniikkaa tukevan kämmentietokoneensa, mutta vetikin sen pois markkinoilta jo vuoden 2009 tammikuussa, vedoten siihen, että tuote on tullut elinkaarensa päähän. [16; 22; 23; 32]

2.5 Muita langattomia järjestelmiä

2.5.1 Infrapuna

Infrapuna on halpa ja helppokäyttöinen tiedonsiirtotie, jota on käytetty jo pitkään. Sen aallonpituus on suurempi kuin näkyvän valon, mutta pienempi kuin mikroaallojen. Aallonpituus on siis väliltä $700\text{ nm} - 1\text{ mm}$. Infrapuna on sähkömagneettista säteilyä, jota kutsutaan myös lämpösäteilyksi. Kaukosäätimet, autojen, varashälyttimien tai muiden lukkojen langattomat avaimet toimivat yleensä infrapunamenetelmällä. Monissa tietokoneissa ja tulostimissa käytetään infrapunaa tiedonsiirtovälineenä. [8]

Infrapuna on erittäin edullinen toteuttaa, sillä muutamalla komponentilla voidaan korvata lyhyehköjä kaapeleita. Se toimii myös puhelinten välillä erinomaisena tiedonsiirtovälineenä. Yhteyden nopeus on parhaimmillaan 4 Mbps. Infrapun huono puoli on se, että laitteiden välillä ei saa olla esteitä eikä laitteiden etäisyys saa olla liian iso. Infrapuna ottaa helposti häiriötä muista laitteista sekä auringon valosta. Infrapunaa ylläpitää IrDA- niminen järjestö (Infrared Data Association), joka on perustettu vuonna 1993. Järjestössä jäsenenä on noin 150 yritystä, jotka käyttävät infrapunatekniikkaa. [8]

2.5.2 Bluetooth

Bluetooth on avoin standardi laitteiden langattomaan kommunikointiin lähietäisyydellä. Bluetooth on lyhyen kantaman radiotekniikkaan perustuva langaton tiedonsiirtotekniikka, jonka tarkoituksena on ollut korvata kaapelit matkapuhelinten, PC:n, tulostinten ja muiden oheislaitteiden välillä. Bluetoothilla korvataan myös infrapunayhteyksiä, koska se on toimintavarmempi ja monipuolisempi siirtotekniikka eikä tarvitse esimerkiksi optista kontaktia yhteislaitteiden välillä. Bluetooth-teknologia mahdollistaa yhteislaitteiden autentikoinnin ja tiedonsalauksen eli -kryptauksen, toisin kuin infrapunayhteydet. [8]

Bluetoothin nimelliset siirtonopeudet ovat symmetrisessä siirrossa 432,6 kbps ja asymmetrisessä lähtevässä 721 kbps ja saapuvassa 57,6 kbps. Bluetoothin keskilähetystaajuus on 2,45 GHz. Samalla taajuualueella toimivat myös muun muassa mikroaaltouunit ja langattomat lähiverkot. Yhteyksien häiriöiden vähentämiseksi lähetyksessä käytetään hajaspektritekniikkaa. [8]

Bluetooth koostuu kolmesta osasta, jotka ovat radio-osa (Bluetooth-radio), radiolinkin hallintaosasta (link controller) ja yhteydenhallinnasta (link manager). Bluetooth mahdollistaa kahdeksan eri laitteen liittämisen samaan verkkoon. Bluetooth-spesifikaatio mahdollistaa, että laite voi olla jäsenenä kahdessa eri verkossa. Näin laitteita ja verkkoja voidaan ketjuttaa toisiinsa. Bluetooth-laitteet jakautuvat verkoissa isänniksi ja orjiksi. [8]

2.5.3 GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) on tiedonsiirtopalvelu, joka toimii GSM-verkossa. Se käyttää radioaaltoja tiedon siirtämiseen. GPRS:n ja GSM:n ero on siinä, että GPRS voi olla jatkuvasti päällä ilman että se kuormittaa verkkoa muulloin kuin dataa siirrettäessä. GPRS:n teoreettinen maksiminopeus on 114 kbps verkosta päätelaitteelle. GPRS on hyödyllinen esimerkiksi, kun haluaa matkapuhelimeensa nettiyhteyden suhteellisen edullisesti. [8]

2.5.4 Wibree

Wibree on Bluetoothin ja WUSB:n kaltainen lyhyen kantaman (5 - 10 m) langaton tiedonsiirtotekniikka. Se perustuu radioteknologiaan. Wibreetä käyttävät laitteet kuluttavat yleensä vähemmän virtaa ja ovat pienikokoisempia. Wibree-tuotteita ei ole vielä saatavilla. Wibree toimii 2.4 GHz:n taajuudella ja sen nopeus on 1 Mbps. [8]

Wibreella on kaksi erilaista toteutusta: dual mode ja stand alone. Dual mode -toteutuksessa Dual mode -toteutus on tarkoitettu käytettäväksi matkapuhelimissa ja tietokoneissa. Stand alone -toteutus puolestaan on optimoitu vähävirtaisiin laitteisiin ja tarkoitettu esimerkiksi urheiluhyvinvointi yms. HID -tuotteisiin. Wibree -tekniikan linkkitaso (link layer) mahdollistaa erilaisia muita toiminnallisuuksia, kuten vähävirtaisen valmiustilan, yksinkertaisen laitteiden löytämisen (simple device discovery), point-to-multipoint tiedonsiirron sekä tiedonsiirron salausmahdollisuuden. Wibree ei kuitenkaan siirrä äänisignaalia. [8]

2.5.5 UMTS (3G)

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinteknologia. 1. sukupolven palveluita edustaa NMT, 2G:tä GSM, ja GPRS edustaa 2.5G:tä.

UMTS:n valttina 2.5G:hen verrattuna on 50 % nopeampi tiedonsiirto molempiin suuntiin, mikä sallii liikkuvan kuvan lähettämisen sekä paremman äänenlaadun puheluita varten. UMTS:issa on edeltäjiään pienempi latenssi. W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on UMTS-verkoissa käytettävä radorajapinta. Se määrittelee esimerkiksi, kuinka mobiililaitteet kommunikoivat tukiasemien kanssa ja miten signaalit moduloidaan. [8]

2.5.6 EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) perustuu GPRS- tekniikkaan, joka on GSM-verkkojen tiedonsiirtostandardi. Se on matkapuhelinten pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka. EDGE tunnetaan myös lyhenteellä EGPRS (Enhanced GPRS). Ensimmäinen EDGE- järjestelmä otettiin käyttöön USA:ssa vuonna 2003. Nykyään käyttäjiä on noin 300 miljoonaa ympäri maailmaa. EDGE -standardin teoreettinen siirtonopeus on 473,6 kbps, mutta käytännössä loppukäyttäjien saavuttamat nopeudet ovat keskimäärin 160 – 200 kbps ja lähetyssuunnassa keskimäärin 80 - 160 kbps. Tämä on noin kolmin- tai nelinkertainen siirtonopeus GSM/GPRS- laitteisiin nähden. [8]

2.5.7 WUSB

WUSB (Wireless Universal Serial Bus) on langaton sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen. WUSB perustuu USB:n arkkitehtuuriin. WUSB-verkossa on yksi keskitin, johon muut laitteet ovat liitettyinä. WUSBia kehittää Wireless USB Promoter Group. [8]

WUSB perustuu UWB:hen (Ultra Wideband). UWB on modulointimenetelmä, jossa signaali lähetetään nopeina pulsseina laajalla taajuusalueella (1 - 2 GHz). UWB:lle on varattuna taajuudet 3,1 GHz - 10,6 GHz. WUSBilla on vain vähän häiriöitä, koska sen taajuusalue on laaja ja data varastoidaan nopeisiin taajuuden vaihteluihin. WUSBin maksimi tiedonsiirtonopeus on 480 Mbps. WUSB-laitteiden etäisyys toisistaan saa olla enintään 10 metriä, jolloin tiedonsiirtonopeus putoaa 110 Mbps nopeuteen. Yhteen WUSB-keskittimeen voi kytkeytyä maksimissaan 127 laitetta. WUSB-topologia tukee myös kaksoisroolimallia (dual-role model) eli laite voi toimia isännän tavoin. WUSB kuluttaa 300 mW tehoa eli suunnilleen saman verran kuin normaali kännykkä tai PDA-laite. Wireless USB -laitteet kiinnittyvät isäntään lähettämällä isännälle oikein ajoitetun viestin. Tämän jälkeen isäntä ja asiakas

autentikoivat toisensa käyttäen omia ID -tunnuksiaan ja sopivia salausavaimia. Kun laite on autentikoitu onnistuneesti, isäntä antaa sille oman USB -osoitteen ja ilmoittaa omalle ohjelmistolleen liitetystä laitteesta. [8]

3 ANTENNIN SUUNNITTELU

Internetistä on runsaasti erilaisia antennien rakennusohjeita, joita tässä työssä on hyväksikäytetty antennien suunnittelussa. Tarkoitus oli rakentaa kaksi eri materiaaleista valmistettua antennia, jotta niitä pystyisi vertaamaan keskenään. Osien suunnitteluun käytettiin hyväksi kahta internetistä löytynyttä 2,45 GHz:n langattoman lähiverkon (WLAN) antennin ohjetta.

3.1 Aaltoputkiantenni säilyketölkistä

Antennin mitoittamiseen on käytetty internetissä olevaa ohjetta [24.]. Antennin toiminta-alueeksi haluttiin 2,45 GHz. Antennin toiminta tuolla alueella edellyttää antennin perustaksi valitun säilyketölkkin halkaisijan ja antennin säteilijän sijainnin sekä sen korkeuden mitoittamista. Tölkkin kokonaispituudella ei antennin toiminnalle ole merkitystä.

Toiminta-alueen määrittämisen avulla saadaan laskettua antennin aallonpituus vapaassa ilmassa λ_0 , joka lasketaan valonnopeuden ($c = 300 \cdot 10^9$ mm/s) sekä halutun taajuuden ($f = 2,45$ GHz) suhteen

$$\frac{\lambda_0}{\text{mm}} = \frac{c}{f} = \frac{300}{\left(\frac{f}{\text{GHz}}\right)} = 122 \text{ mm.} \quad (1)$$

Aallonpituutta merkitään λ (lambda) merkillä. Tämän perusteella saadaan mitoitettua antennin vastaanottotapin korkeus säilyketölkkin sisällä, sillä vastaanottotapin tulee olla

$$\frac{\lambda_0}{4} \approx 31 \text{ mm.} \quad (2)$$

Seuraavaksi laskettiin putken halkaisijasta D riippuvan alarajataajuuden aallonpituus λ_c kaavan

$$\lambda_c = 1,706 \cdot D \quad (3)$$

perusteella. Antennin perustaksi valittiin Rainbow-merkkinen persikkatölkki. Tölkin halkaisija on $D = 100$ mm, jolloin λ_c :n arvoksi saadaan 171 mm.

Kolmanneksi lasketaan arvo seisovalle aallonpituudelle putkessa λ_g . Se saadaan laskettua λ_0 :n ja λ_c :n funktiona. Aallonpituuksien käänteisluvut muodostavat kuvitteellisen suorakulmaisen kolmion, josta saadaan Pythagoraan yhtälö:

$$\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 = \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2 + \left(\frac{1}{\lambda_g}\right)^2, \quad (4)$$

josta

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{122\text{mm}}\right)^2 - \left(\frac{1}{171\text{mm}}\right)^2}} = .175 \text{ mm} \quad (5)$$

Ihanne kokonaispituus tölkillä olisi 75 % seisovan aallon pituudesta λ_g eli

$$\frac{3}{4} \lambda_g = 133 \text{ mm}. \quad (6)$$

Tölkin pituus on kuitenkin hieman suurempi eli 180 mm, mutta sen ei pitäisi vaikuttaa antennin toimintaan.

$$\frac{\lambda_g}{4} \approx 44 \text{ mm:n} \quad (7)$$

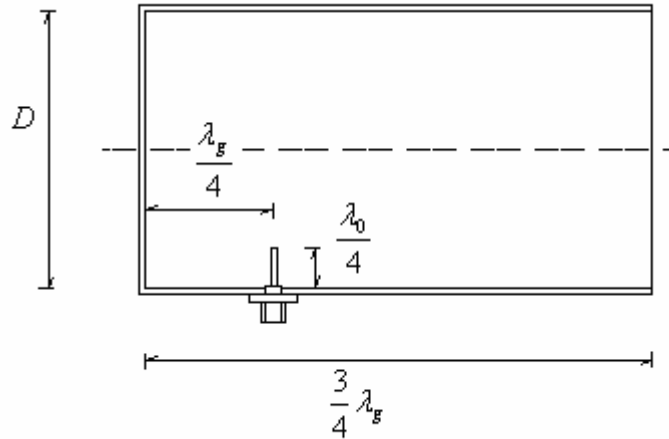
etäisyydelle tölkin umpinaisesta päästä kiinnitetään N-liitin, koska se on antennin voimakkaimmin vastaanottava kohta. N-liittimen keskitappia tulee pidentää

$$\frac{\lambda_0}{4} \approx 31 \text{ mm:n} \quad (2)$$

mittaiseksi. Keskitapin pidennys tehdään messinkiputkella, joka on ulkohalkaisijaltaan 4,5 mm. Putken sisähalkaisija on suunnilleen sama, kuin N-liittimen keskitapin, jolloin putki saadaan liitettyä keskitappiin ilman erillistä lii-

tosta. Putki liitetään N-liittimeen sen juuresta, eli putken pituus tulee olla 31 mm.

Antennin mitat on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Aaltoputkiantennin mitat [lähde 24 mukaillen]

3.2 WLAN-antenni kakkuvuoasta

Kakkuvuoka-antennin mitoittaminen olikin huomattavasti haastavampaa, kuin säilyketölkistä tehdyn antennin. Tämänkin antennin toiminta-alueeksi haluttiin 2,45 GHz, jolloin antennin aallonpituus vapaassa ilmassa on sama kuin säilyketölkistä tehdyllä antennilla

$$\frac{\lambda_0}{mm} = \frac{300}{\left(\frac{f}{GHz}\right)} = 122 \text{ mm.} \quad (1)$$

Antennin mitoitus tehtiin internetistä saadun ohjeen [25] kuvien perusteella.

Antennin pohjaksi valittiin alumiininen kakkuvuoka, jonka halkaisija on antennin aallonpituus vapaassa ilmassa kerrottuna kahdella eli

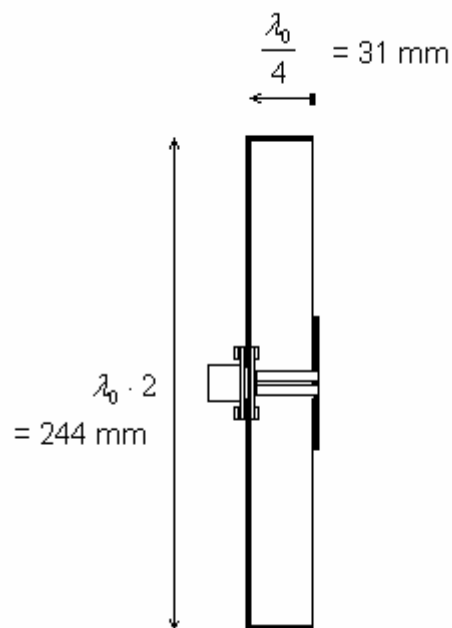
$$\lambda_0 \cdot 2 \approx 244 \text{ mm.} \quad (8)$$

Tällöin vuoan reunojen korkeus tulee olla

$$\frac{\lambda_0}{4} = 31 \text{ mm.} \quad (2)$$

Vuoan tulee olla sileäpintainen ja sivuseinien tulee olla kohtisuorassa pohjaan nähden (kuva 7.).

Vuoan keskelle porataan reikä noin 12 mm N-liitintä varten. N-liittimen ja vuoan lisäksi antennia varten tarvitaan samaa messinkitankoa kuin säilyketoikkiantennissa, kupariputkea, jonka sisähalkaisija on 10 mm, 2 mm paksua kuparilankaa sekä tinattua teräslevyä, jonka voi leikata säilykepurkista. Antennin suojakupua varten tarvitaan myös mikroaaltouunin kupu sekä kuparilankaa.



Kuva 7. Kakkuvuoan mitat [lähde 25 mukailen]

Kakkuvuoasta tulee hioa ulkopuolen maalipinta pois, jotta se ei vaikuta antennin toimintaan. Sisäpuolella oleva kulunut teflon-pinnoite ei pitäisi olla vaikuttavana tekijänä. N-liitin kiinnitetään kakkuvuokaan ja sen keskitappia pidennetään samoin kuin säilyketoikkista tehdyssä antennissa eli 31 mm:n mittaan.

Antennin dipolin jalan mitoittaminen ja sen rakentamisen suunnittelu olivat haastavin osa työssä. Dipolin etäisyys vuoan pohjasta tulee olla noin 31 mm tai aavistuksen suurempi. N-liittimen pidennetyn keskitappin ympärille tehdään kupariputkesta, jonka sisähalkaisija on 10 mm, kaksi puolikasta, jotka sijoitetaan keskitappin molemmin puolin pystyasentoon siten, että niiden välissä on noin 1,5 mm suuri rako (kuva 8.).

Kupariputken korkeus tulee olla sama kuin keskitapin eli 31 mm. Antennin tärkein mitta on raon korkeus

$$\frac{\lambda_0}{4} \approx 31 \text{ mm} \quad (2)$$

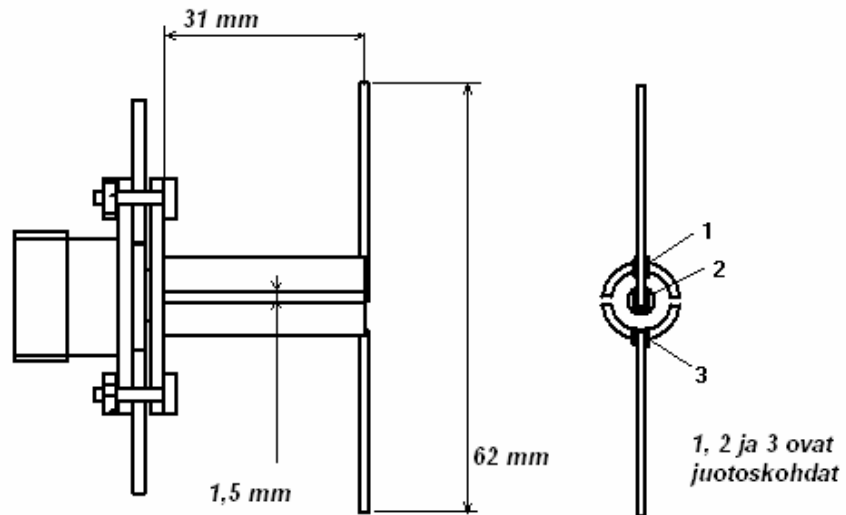
ja se, että se ylittää kupariputken koko matkalta alhaalta ylös samansuuruise-
na. Ulkoputken sisähalkaisijan ja sisäputken ulkohalkaisijan suhde tulee olla
2:3 ja näillä mitoilla se on riittävän tarkka impedanssin määräytymistä varten.
Kupariputken puolikkaiden siihen päähän, jota ei kiinnitetä vuokaan, koverre-
taan pienet urat puoliympyrän keskikohtaan dipolin haarojen juottamista var-
ten.

Dipoli tehdään 2 mm paksusta kuparilangasta. Dipolin haarat kannattaa juot-
taa kiinni dipolin jalkaan ennen kuin ne leikataan oikeaan mittaan. Toinen
haara juotetaan kiinni kupariputkeen, kuten kuvassa 8. kohdassa 3. Toinen
haara juotetaan sekä kupariputkeen, kuten kuvan 8. kohdassa 1 että N-
liittimen keskitappia pidentävään messinkitankoon, kuten kuvan 8. kohdassa
2.

Dipolin haarojen yhteismitan tulee olla

$$\frac{\lambda_0}{2} \approx 62 \text{ mm.} \quad (9)$$

Dipolin haarat katkaistaan keskitapista katsottuna 31 mm:n etäisyydeltä, jot-
ta haarojen kokonaismitta olisi oikea.



Kuva 8. Dipolin mitat [lähdettä 25 mukaillen]

Antennille rakennetaan myös suojakotelo vanhasta mikroaaltouunin suojakuvusta. Dipolista

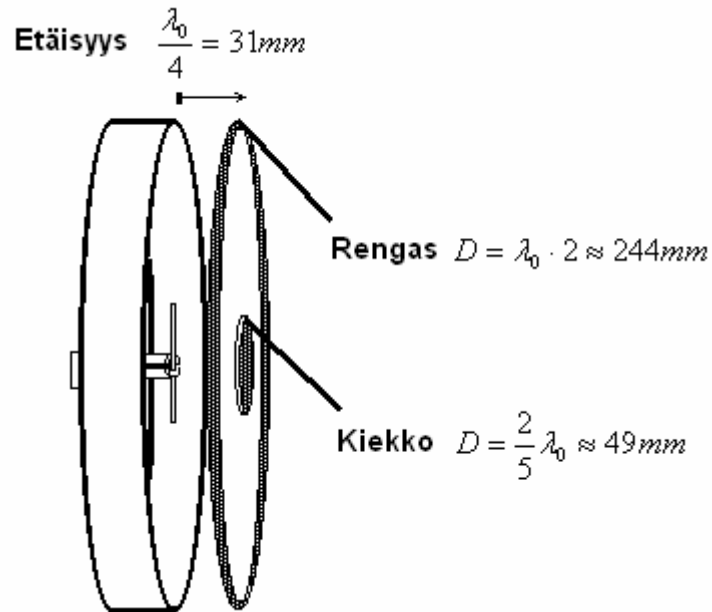
$$\frac{\lambda_0}{4} \approx 31 \text{ mm} \quad (2)$$

etäisyydelle tarvitaan tinatusta teräslevystä halkaisijaltaan

$$D = \frac{2}{5} \lambda_0 \approx 49 \text{ mm} \quad (10)$$

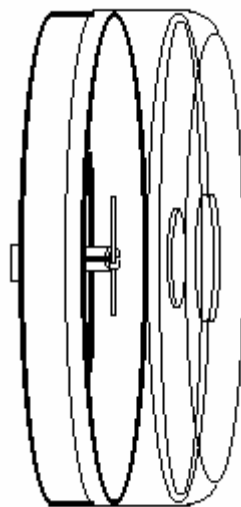
kokoinen ympyrän muotoinen kiekko. Vastaavan saa leikattua suuren säilyketölkkin pohjalevystä. Samalle 31 mm:n etäisyydelle (kuva 9.) taivutetaan kuparilangasta rengas, jonka halkaisija tulee olla

$$D = \lambda_0 \cdot 2 \approx 244 \text{ mm}. \quad (11)$$



Kuva 9. Mikroaaltouunin kuvun mitat [lähde 25 mukailen]

Mikroaaltouunin suojakuvussa päällä oleva reikä peitetään ja tinatusta teräslevystä tehty kiekko liimataan pikaliimalla kuvun keskikohtaan. Kuparilangasta tehty rengas liimataan myös samalle korkeudelle suojakupuun kiinni. Suojakuvun reunat leikataan siten, että ne ovat hieman diodista haluttua etäisyyttä 31 mm suuremmat. Suojakupu asetetaan kakkuvuoan päälle tiukasti niin, että teräslevykiekko ja kuparilankarengas ovat oikealla etäisyydellä diodista. (Kuva 10.)



Kuva 10. Antenni suojakupineen [25]

4 ANTENNIN VALMISTUS

Antennin voi rakentaa monistakin eri materiaaleista, jotka ovat hyvin sähköä johtavia. Tähän työhön valittiin materiaaleja jokapäiväisestä elämästä. Toinen antenni valmistettiin tavallisen säilyketölkin runkoon ja toinen vanhaan, käytettyyn kakkuvuokaan.

Antennit rakennettiin kokonaan itse vähäisellä avulla, muttei kuitenkaan käyttäen ammattimaista työvoimaa. Tarkoitus oli osoittaa, että antennin rakennus onnistuu myös kotikonstein.

4.1 Aaltoputkiantennin rakennus

Aivan halutun

$$\frac{3}{4} \lambda_g = 133 \text{ mm} \quad (6)$$

pituista tölkkiä ei ollut saatavilla, joten antenni jäi jonkin verran pidemmäksi. Päätin olla leikkaamatta tölkkiä lyhemmäksi, koska ohjeistuksen mukaan ihannemitta on oikeastaan vähimmäismitta. Antennin rakennukseen käytettiin Rainbow-merkkisen persikkätölkin tyhjää tölkkiä.

Valitun säilyketölkin halkaisija oli 100 mm ja antennin haluttu taajuus oli 2,4 GHz, jolloin antennin mitoituksessa tarvittava mitta λ_g eli seisovan aallon pituus on 175,7 mm ja täten

$$\frac{\lambda_g}{4} = 44 \text{ mm.} \quad (7)$$

λ_0 :n riippuessa taajuuden suuruudesta, saadaan 2,45 GHz:n antennin λ_0 :n arvoksi 122 mm, jolloin

$$\frac{\lambda_0}{4} = 31 \text{ mm.} \quad (2)$$

N-liittimen löytäminen osoittautui haasteelliseksi, koska koko pääkaupunkiseudulla on ainoastaan kaksi elektroniikka-alan erikoisliikettä, jotka niitä myyvät. N-liittimenä käytettiin Suhnerin naaraspuolista N-liitintä (kuva 11).

Liittimessä on lisäksi kumitiiviste, jolloin se saadaan ulkokäyttöön soveltu-
vaksi kohtuullisella tiivistämisellä.



Kuva 11. N-liitin [5]

N-liittimen keskitappia jatkettiin 4 mm paksulla messinkiputkella, joka sopi-
vasti saatiin liitettyä ilman erillistä juottamista keskitappiin, koska messinki-
putken sisähalkaisija oli samansuuruinen, kuin keskitapin paksuus. Keskitä-
pin korkeudeksi saatiin lisäyksen avulla 31 mm.

N-liittimen keskiosaa varten porattiin säilyketölkkiin 44 mm:n etäisyydelle 12
mm:n reikä ja N-liitin kiinnitettiin jatkettuine keskitappeineen putkimiehen tei-
pillä säilyketölkkiin niin, että tappi tulee sisäpuolelle ja liitinosa tölkin ulko-
puolelle. Kiinnitykseen käytettiin putkimiehen teippiä, koska tölkin pienen
halkaisijan vuoksi N-liittimen kiinnitys ruuveilla oli erittäin hankalaa ja anten-
nissa kannattaa olla mahdollisimman vähän sisäseinämällä olevia häiritseviä
ylimääräisiä tappeja. (Kuva 12.)

Tölkin avoin suuaukko peitettiin halkaisijaltaan samansuuruisen pakaste-
rasian kannella. Myös kansi kiinnitettiin putkimiehen teipillä.



Kuva 12. Aaltoputkiantenni ilman suojakantta

4.2 Kakkuvuoka-antennin rakennus

Kakkuvuosta tehdyn antennin rakentaminen oli huomattavasti haasteellisempaa kuin säilyketölkistä rakennetun antennin. Keittiökaapissani oli halkaisijaltaan juuri internetin ohjeessa olevan kokoinen vanha kakkuvuoka. Vuoka oli teflon-pinnoitettu ja paljon käytetty.

Ensimmäinen haaste oli saada vuolan reunat sopivan mittaisiksi. Reunat tuli lyhentää

$$\frac{\lambda_0}{4} \approx 31 \text{ mm} \quad (2)$$

korkeuksiksi. Tätä tarkoitusta varten hankin rautasahan, koska en aiemmin omistanut kovinkaan monta työkalua. Reunojen sahaaminen oli internet-sivuilla antenniohjeessa esitetty niin helpoksi, että se oli vain ohimennen mainittu. Reunan oikea korkeus mitattiin ja vuolan maalipintaan vedettiin terävällä veitsellä merkki, mistä sahataan ja alettiin sahata.

Eipä ollutkaan kovin yksinkertaista pyöreän kakkuvuolan sahaus. Lopulta voimat loppuivat monen yrityksen jälkeen, kun vuoka lipsui jatkuvasti käsistä, eikä saha tuntunut purevan siihen ollenkaan. Päädyimme kampeamaan

vuolan keittiöjakkaraan niin, että se ei liikkunut sahausvaiheessa. Tästä päästiin vihdoin työn alkuun ja saimme vihdoin sahattua vuolan reunat oikean mittaisiksi. Tätä työvaihetta olisi huomattavasti auttanut, jos käyttöön olisi saatu jonkinlainen ruuvipöytä, johon vuolan olisi saanut kiinnitettyä.

Seuraavaksi hiottiin käsin hiekkapaperilla vuolan ulkopuolella olevan sininen maali pois, jotta maali ei vaikuttaisi antennin toimintaan. Kakkuvuolan keskelle porattiin 12 mm halkaisijaltaan oleva reikä N-liitintä varten. Liitin kiinnitettiin putkimiehen teipillä kiinni vuokaan. Putkimiehen teippiä käytettiin sen hyvien kiinnitysominaisuuksien vuoksi.

Antennin dipolin tuli olla korkeudeltaan sama kuin kakkuvuolan sivujen korkeus. N-liittimen keskitappia pidennettiin

$$\frac{\lambda_0}{4} \approx 31 \text{ mm} \quad (2)$$

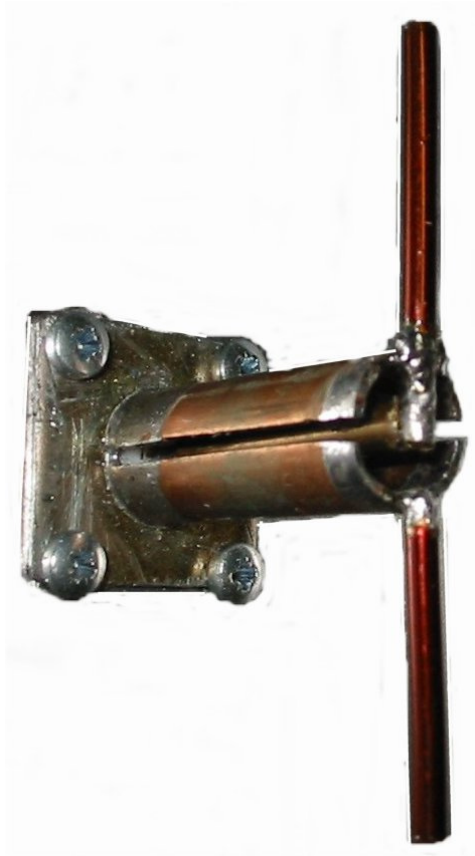
messinkiputkella, jonka halkaisija oli 4 mm. Keskitapin ulkohalkaisija on samansuuruinen kuin messinkiputken sisähalkaisija ja putki saatiinkin kiinnitettyä tukevasti keskitappiin ilman erillistä liittämistä.

Messinkiputken ympärille tarvittiin kupariputken puolikkaat. Rautasahalla halkaistiin halkaisijaltaan 10 mm oleva kupariputki ja sahattiin se samanmittaiseksi kuin N-liittimen korkeus on yhteensä jatko-osineen eli yhteensä 31 mm. Puolikkaat sijoitettiin messinkiputken ympärille molemmin puolin niin, että niiden väliin jäi n. 1,5 mm:n levyinen väli. Kupariputken puolikkaat liitettiin N-liittimeen putkimiehen teipillä, käyttäen kiinnitysvaiheessa apuna ohuita styroksipaloja, joilla sai osien väliin oikean suuruisen välin.

Dipoliin tarvittiin vielä halkaisijaltaan 2 mm olevaa kupariputkea dipolin haaroiksi. Näiden yhteismitta tulee olla

$$\frac{\lambda_0}{2} \approx 62 \text{ mm.} \quad (9)$$

Lyhempi leikattiin noin 30 mm mittaiseksi ja pidempi noin 32 mm mittaan. Pidempi kiinnitettiin juottamalla messinkiputken päähän sekä kupariputken toiseen puolikkaaseen. Lyhyempi pala kiinnitettiin toiseen kupariputken puolikkaaseen (*kuva 13*). Näin antennin dipoli oli valmis.



Kuva 13. Ohjeistuksen mukainen dipoli kakkuvuoka-antennissa [25]

Antennille rakennettiin vielä suojakotelona toimiva kupu internetin ohjeen mukaan mikroaaltouunin muovikuvusta. Tosin mittauksissa saatiin paremmat tulokset antennilla ilman kupua kuin sen kanssa. Kuvassa 14. antenni on kuvattu ilman kupua. Kupu leikattiin oikean korkuiseksi saksilla ja liimattiin sen keskikohtaan säilyketölkistä leikatun pyöreän,

$$D = \frac{2}{5} \lambda_0 \approx 49 \text{ mm} \quad (10)$$

halkaisijaltaan olevan pienen levyn. Ohuesta, halkaisijaltaan 0,2 mm olevasta kuparilangasta, tehtiin punosta, joka oli paksuudeltaan noin 2 mm. Punos liimattiin kanteen kiinni ohjeen mukaan.



Kuva 14. Kakkuvuoka-antenni ilman suojakupua

5 ANTENNIN MITTAUKSET

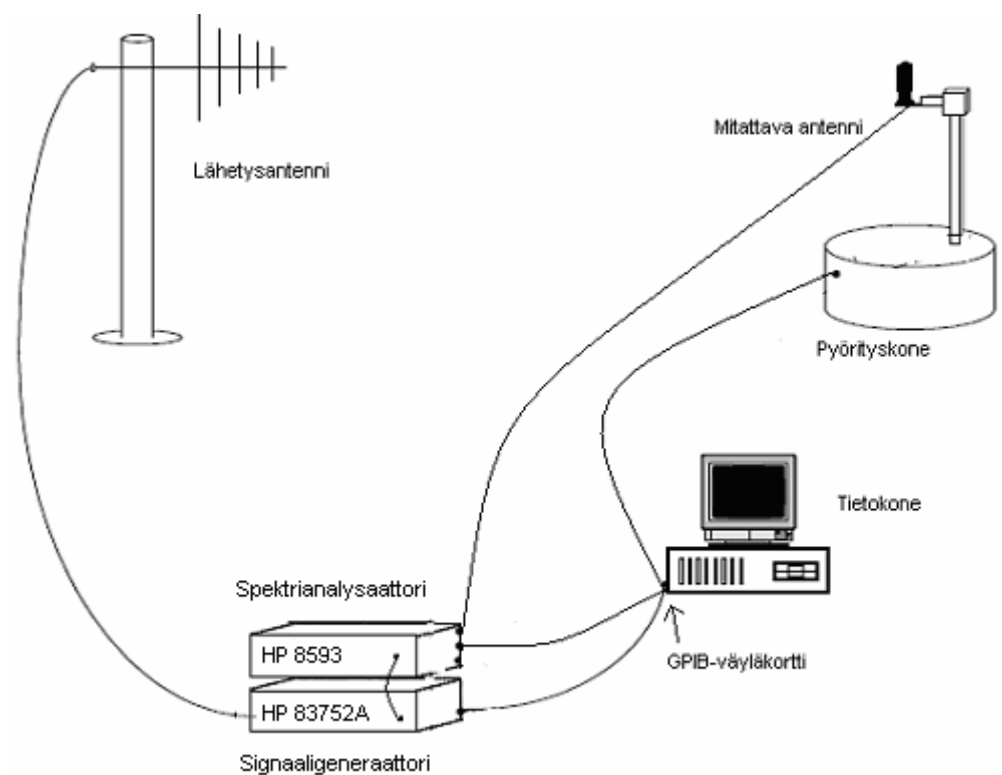
Antennien mittaukseen on useita eri tapoja. Antennin mittaustapa riippuu siitä, minkä suuruinen antenni on kooltaan tai taajuudeltaan sekä mitä ominaisuuksia antennista halutaan mitata. Antenneista on mahdollista mitata kentän voimakkuutta, polarisaatiota, tehotiheyttä, impedanssia, vaihetta, keilanleveyttä, sivukeiloja taajuuskaistaa ja vahvistusta. Näistä kahdesta valmistamistani antennista mitattiin suuntakuvio päätasoissa sekä laskettiin kuvasta vahvistuksen suuruus.

Antennien mittaukset suoritettiin koululla olevassa heijastuksettomassa huoneessa, jossa on mittauksiin nähden hallitut olosuhteet, kun sääolot eivätkä muut ympäristön vaikutukset vaikuta mittaustilanteeseen. Huone on äänieristetty ja seinät on vuorattu häiriötekijöitä vaimentavalla materiaalilla.

Antennit mitattiin antennien kahdessa päätasossa. Aaltoputkiantenni mitattiin N-liittimen keskitapin pidennyksen ollessa kohtisuorassa asennossa pääpolarisaatiossa vastaanottoantenniin nähden. Kakkuvuoka-antenni mitattiin dipolin ollessa sekä vaaka- että pystysuorassa. Tämän lisäksi kakkuvuoka-

antenni mitattiin mikroaaltouunin kuvusta tehdyn kannen kanssa että ilman sitä.

Mittausjärjestelmänä käytettiin Agilent VEE-pohjaista ohjelmaa, josta Soile Sallinen oli opinnäytetyössään kehittänyt valmiin mittausjärjestelmän (kuva 15.). Tutkittavan antennin suunnan kääntämiseen käytettiin Brüel & Kjærin Turntable System -Type 9640, Controller Type 5949 ja Remote Control WB 1254 –pyöritysjärjestelmää. Järjestelmään liitettiin kuvan 15. osoittamalla tavalla signaaligeneraattori HP 83752, spektrianalysointilaite HP 8593, kannettava tietokone Fujitsu Siemens Lifebook ja GPIB-väyläkortti Agilent 82350A. [26]



Kuva 15. Mittausjärjestelmä [26]

Ohjelmaan syötettiin mittauksessa käytetty taajuusarvo 2,4 GHz. Laitteiden kytkennät sekä pyörityskoneen aloitus- ja lopetuskulmat olivat valmiiksi ohjelmoituina. Antenni kiinnitettiin pyörityskoneeseen. Polar Plot piirturilla saatiin antennien valmiit säteilykuvat suoraan pdf-muotoisina.

Piirianalysointilaite HP 8752C käytettiin saamaan antennien paluuvaimennuksen suuruudet. Piirianalysointilaite kalibrointiin käytettiin HP 85032B Type N -kalibrointisettiä. Kuvaajat tulostettiin ja tulokset on liitetty tähän työhön.

6 TULOKSET

Aluksi mitattiin antennien paluuvaimennukset piirianalysointilaitteilla. Säilyketölkistä tehdyn aaltoputkiantennin paluuvaimennukseksi saatiin 5,4924 dB \approx 6 dB (LIITE 1), mikä on aika heikko, koska 2,4 GHz:n taajuudella arvoksi tulisi saada, pituutta ja mittaa säätämällä, lähemmäs 10 dB:n paluuvaimennusta.

Vuoka mitattiin ensin suojakuvun kanssa ja sen paluuvaimennukseksi saatiin 1,6512 dB \approx 2 dB (LIITE 2). Vuokaan tehty antenni päädyttiin mittamaan myös ilman suojakupua, koska kuvun rakentamisessa oli käytetty erikoisia ratkaisuja. Ilman kupua saimme paremman tuloksen 2,5233 dB \approx 2,5 dB (LIITE 3).

Aaltoputkiantennin säteilykuvio mitattiin niin, että antennin keskitappi oli kohdistuorassa asennossa eli pystypolarisaatiossa. Kuvaajien saamiseksi mittaus tehtiin kaksi kertaa, ensin 10 välillä (LIITE 4) ja sitten 5 välillä (LIITE 5). Loput mittaukset tehtiin 5 välillä. Antennin säteilykuvion kuvaajassa pääkeilan muoto on melko leveä ja sivukeilat eivät kunnolla erotu.

Kakkuvuoka-antenni mitattiin ensin ilman suojakupua pystypolarisaatiossa (LIITE 6) ja vaakapolarisaatiossa (LIITE 7). Vaakapolarisaatiossa kuvaaja oli oikeamman näköinen, mutta ei suinkaan täydellinen.

Antennin mitattiin tämän jälkeen vielä suojakuvun kanssa pystypolarisaatiossa (LIITE 8) sekä vaakapolarisaatiossa (LIITE 9). Tällöin pystypolarisaatiolla saatiin siistimpi säteilykuvio, kun vaakapolarisaatiossa kuvaaja levisi eri suuntiin.

7 PÄÄTELMÄT

Valmistamani antennit toimivat yllättävän moitteettomasti laboratorio-mittauksissa. Molempien antennien toimintaa olisi kuitenkin voinut usealla tavalla parantaa, samoin kuin mittaustilannetta olisi voinut tehostaa.

Aaltoputkiantenni oli hyvin yksinkertainen rakennettava. Siitä olisi rakennusvaiheessa voinut tasoittaa tarkemmin suuaukon sivuja. Sisäpuolen seinämiä olisi myös voinut tasoittaa, koska tölissä ne olivat hieman aaltoilevat. Tölkin halkaisija oli ohjeen mukainen, mutta sen korkeus oli hieman ohjearvoa suurempi, mikä saattoi myös osaltaan vaikuttaa jonkin verran tuloksiin.

N-liittimen kiinnityksellä tölkkiin ei todennäköisesti ollut paljon merkitystä. En usko, että kupariputken juottaminen N-liittimen keskitappiin olisi vaikuttanut kovin suuresti, koska se oli liittimessä erittäin tiukasti kiinni. Sen sijaan N-liittimen ja keskitapin tarkempi sijoitus tölkin sisällä olisi varmasti vaikuttanut tuloksiin. Tölkki oli sisäkooltaan niin pieni, että käsin tehty asennus on saattanut vaikuttaa tuloksiin.

Kakkuvuoka-antennilla tulokset olivat hieman heikommat, kuin aaltoputkiantennilla saadut. Vuoaan tarkka reunojen mitta olisi todennäköisesti muuttanut tuloksia vain hiukan ja vuoaan teflon-pinnoite ei vaikuta antennin toimintaan. Vuoaan ulkopinnan maali olisi saattanut tuloksiin vaikuttaa, mutta se oli hiottu pois.

N-liittimen ympärille kootun diodin rakennuksessa olisi voinut käyttää parempaa kolvia ja laadukkaampaa tinaa juotoksiin. Kupariputken puolikkaiden liittämisen N-liittimeen olisi voinut tehdä juottamalla osat toisiinsa putkimiehen teipin sijaan, jolloin diodi olisi pysynyt vakaamana pystyssä, kun nyt liitos oli melko kevyt. Putken puolikkaiden sivuille tulevan kuparilangan olisi saanut paremmalla ja paksummalla juotostinalla juotettua vakaammin.

Mikrokuvusta tehtyä kansirakennelmaa ei kakkuvuoka-antenniin olisi välttämättä tarvinnut ollenkaan, koska tulokset olivat paremmat ilman sitä. Kansi olisi kannattanut tehdä tarkemmin mitaten. Säilyketölkistä leikattu pala olisi voinut olla sileämpi ja kupuun kiinnitetty kuparilanka olisi saanut olla halkaisijaltaan 2 mm eikä 0,2 mm, jotta punosta ei olisi tarvinnut tehdä.

Antennin säteilijän (dipolin) mitoitus olisi tullut tehdä huolellisemmin, sillä aallonpituus käytetyllä taajuusalueella on vain

$$\frac{\lambda_0}{mm} = \frac{300}{\left(\frac{f}{GHz}\right)} = \frac{300}{2450} = 12,2 \text{ cm.} \quad (1)$$

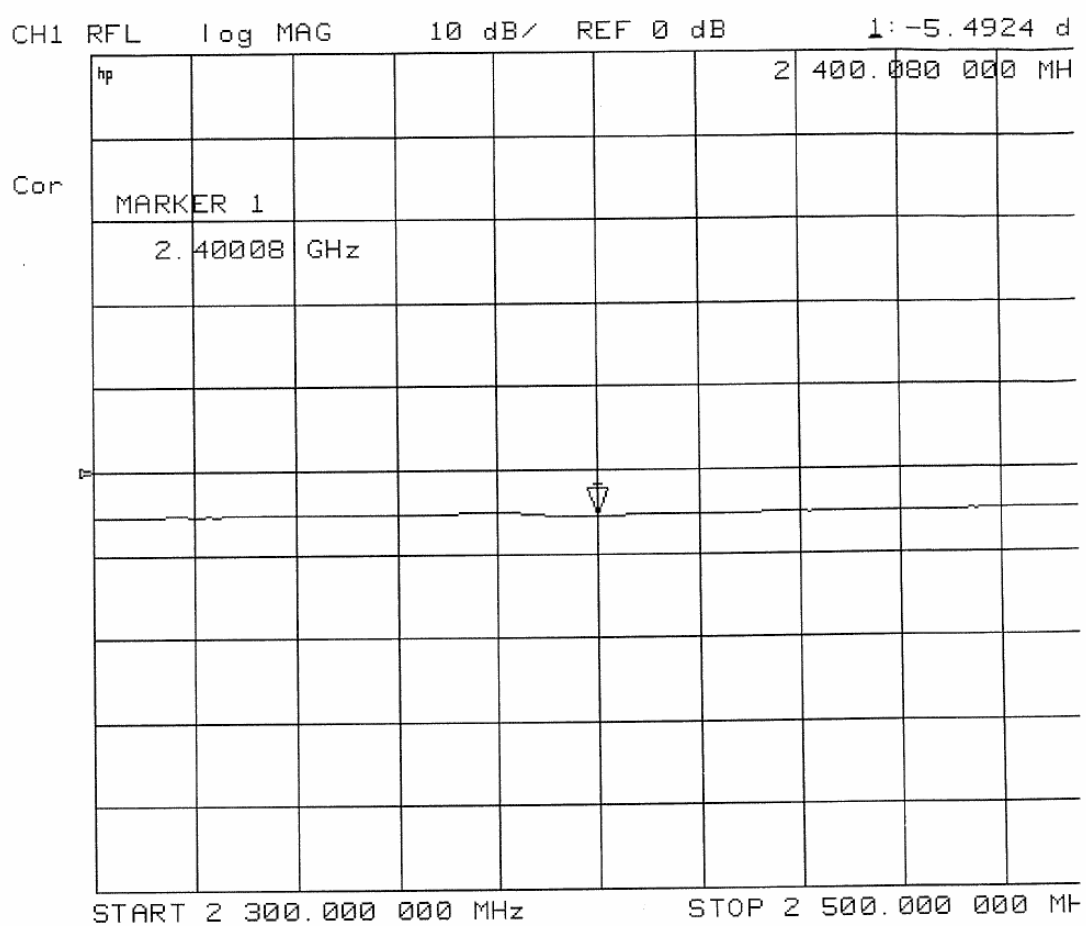
Aallonpituuteen verrattuna säteilevän elementin koko on pieni, ja muutaman millimetrin heitto voi vaikuttaa voimakkaasti käyttötaajuuteen ja säteilyominaisuuksiin.

VIITELUETTELO

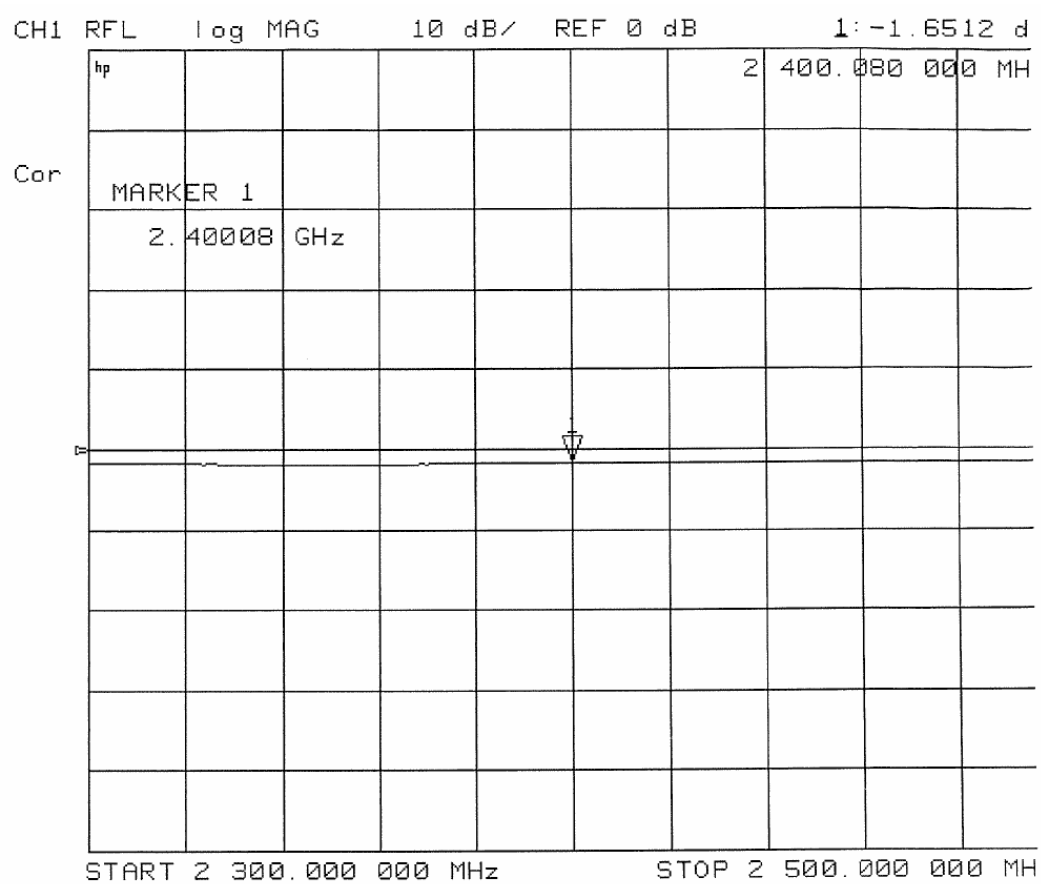
- [1] Granlund, Kaj, *Tietoliikenne*, 1. painos, Porvoo Docendo 2003.
- [2] *Langaton lähiverkko* [verkkodokumentti]. [viitattu 16.3.2008].
saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Langaton_%C3%A4hiverkko
- [3] Viestintävirasto, *Langattomat lähiverkot (RLAN) 5 GHz taajuusalueella* [verkkodokumentti], 11.10.2002 [viitattu 20.2.2008]. saatavissa http://www.ficora.fi/index/viestintavirasto/asiakastiedotteet/radiotaajuudet/2002/p_12.html
- [4] *IEEE 802.11* [verkkodokumentti]. [viitattu 3.4.2010]. saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [5] *N-liittimen kuva* [verkkodokumentti]. [viitattu 8.5.2009]. saatavissa: http://www.saunalahti.fi/elepal/A12330_1.jpg
- [6] Palomäki, Martti, *Suurin sallittu lähetysteho 2,4 GHz WLAN-verkossa* [verkkodokumentti]. [viitattu 8.5.2009]. saatavissa: <http://www.saunalahti.fi/elepal/wlanout.html>
- [7] *Digitv antenni* [verkkodokumentti]. [viitattu 2.3.2008].
saatavissa: http://www.kyrsa.com/dyi/dyi_digitv_antenni_v2.gif
- [8] *Langattoman tiedonsiirron historia* [verkkodokumentti]. [viitattu 21.4.2009].
saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Langattoman_tiedonsiirron_historia
- [9] Tietoyhteiskunnan kehittämiskeskus, *Sähköisen kaupankäynnin aapinen* [verkkodokumentti], lokakuu 2003 [viitattu 27.3.2010]. saatavissa: http://www.tieke.fi/julkaisut/opaat_yrityksille/sahkoisen_kaupankaynnin_aapinen/
- [10] Suvanto, Ville, *WLAN* [verkkodokumentti], 22.7.2003 [viitattu 22.4.2009]. saatavissa: <http://plaza.fi/muropaketti/artikkelit/sekalaiset/wlan>
- [11] *KPO WiMAX* [verkkodokumentti]. [viitattu 22.2.2008]. saatavissa: http://www.kainuu.fi/UserFiles/File/laajakaistapaiva/JMoilanen_KPO_WiMAX.PDF
- [12] Wi-Fi Alliance, *About the Alliance* [verkkodokumentti]. [viitattu 21.4.2009]. saatavissa: http://www.wi-fi.org/about_overview.php
- [13] Puska, Matti, *Langattomat lähiverkot*, 1. painos, Jyväskylä, Talentum Media Oy 2005
- [14] Marshall, Trevor, *Antennas enhance WLAN security* [verkkodokumentti], 1.10.2001 [viitattu 8.5.2009]. saatavissa: http://www.trevormarshall.com/byte_articles/byte1.htm
- [15] Juutilainen, Matti, *Langaton lähiverkko luentomateriaali* [verkkodokumentti], Lappeenrannan teknillinen yliopisto [viitattu 8.5.2009]. saatavissa: <http://www.it.lut.fi/kurssit/03-04/010651000/luennot/wlan.pdf>
- [16] *WiMAX* [verkkodokumentti]. [viitattu 20.2.2008]. saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

- [17] Wimaxion, *Langaton laajakaista* [verkkodokumentti]. [viitattu 21.4.2009]. saatavissa: <http://www.wimaxion.com/fi/>
- [18] WiMAX Forum [verkkodokumentti]. [viitattu 21.4.2009]. saatavissa: <http://www.wimaxforum.org/home/>
- [19] WLAN [verkkodokumentti]. [viitattu 16.3.2008]. saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/WLAN>
- [20] Lehto, Tero, *WiMAX yhdistää jo työmaita ja valvontakameroita* [verkkodokumentti], 7.4.2006 [viitattu 2.3.2008]. saatavissa: http://www.tietokone.fi/uutta/uutinen.asp?news_id=26622
- [21] Lehto, Tero, *Siemens:Wimaxin aika Suomessa on nyt* [verkkodokumentti], 5.4.2006 [viitattu 15.3.2008]. saatavissa: http://www.tietokone.fi/uutta/uutinen.asp?news_id=26595
- [22] Tietoliikenteen ja tietotekniikan keskusliitto FiCom ry [verkkodokumentti]. [viitattu 20.2.2008]. saatavissa: http://www.ficom.fi/fi/t_tekniikka_r.html?Id=1109941753.html&T
- [23] Lehto, Tero, *Nokia kehittää jo wimax-kännykkää* [verkkodokumentti], 14.2.2006 [viitattu 15.3.2008]. saatavissa: http://www.tietokone.fi/uutta/uutinen.asp?news_id=26032
- [24] Palomäki, Martti, *Wlan-antenni, Waveguide-tyyppiä* [verkkodokumentti] 5.7.2001 [viitattu 3.3.2008]. saatavissa: <http://www.saunalahti.fi/elepal/antenni2.html>
- [25] Palomäki, Martti, *Wlan-antenni 2.4 GHz , Tee se itse* [verkkodokumentti]. [viitattu 20.2.2008]. saatavissa: <http://www.saunalahti.fi/elepal/antenni1.html>
- [26] Sallinen, Soile, *Tietokoneohjattu antennimittausjärjestelmä*, Insinööritoimisto, Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia, Tietotekniikan koulutusohjelma. Helsinki, 2008
- [27] Granlund, Kaj, *Langaton tiedonsiirto*, 1. painos, Porvoo, Docendo 2001.
- [28] TietOraakkeli, *Mikä ihmeen WiMAX* [verkkodokumentti]. 22.1.2006 [viitattu 21.4.2009]. saatavissa: <http://tietoraakkeli.blogspot.com/2006/01/mik-ihmeen-wimax.html>
- [29] Niemi, Juha, *WLAN-turvallisuus* [verkkodokumentti] 18.4.2003 [viitattu 8.5.2009]. saatavissa: http://www.cs.helsinki.fi/group/turvasem/papers/niemi_wlan.pdf
- [30] Reed, Brad, Network World, *'WiMAX 2' coming in 2011?* [verkkodokumentti] 28.1.2010 [viitattu 3.5.2010] saatavissa: <http://www.networkworld.com/news/2010/012810-wimax-2.html?hpg1=bn%20>
- [31] Savolainen, Henna, *Wimax-peitto kattaa ensi vuonna miljardi ihmistä* [verkkodokumentti] 23.2.2010 [viitattu 3.5.2010] saatavissa: http://www.mikropc.net/kaikki_uutiset/article377843.ece
- [32] Lehto, Tero, *Nokia hylkää yllättäen wimax-laitteensa* [verkkodokumentti] 8.1.2009 [viitattu 3.5.2010] saatavissa: http://www.tietokone.fi/uutiset/2009/nokia_hylkaa_yllattaen_wimax_laitteensa

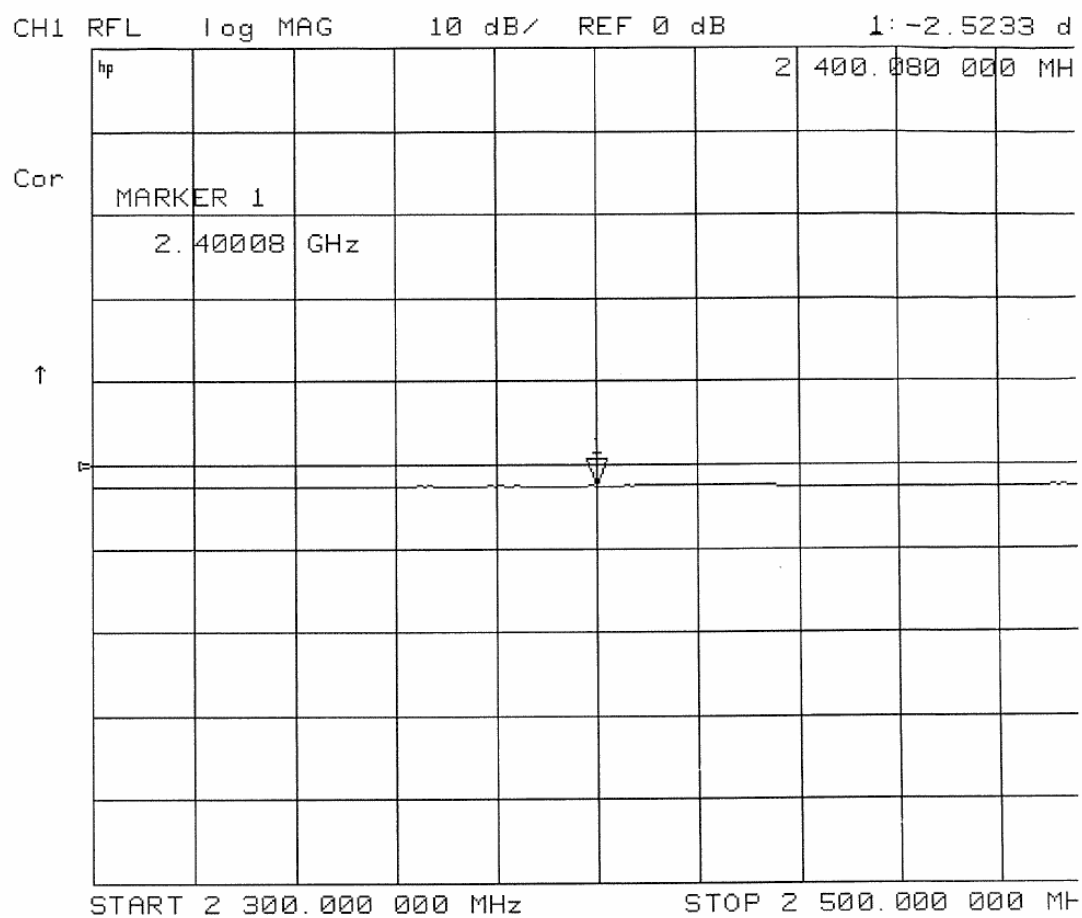
Aaltoputkiantennin paluuvaimennus



Kakkuvuoka-antennin paluvvaimennus suojakuvun kanssa

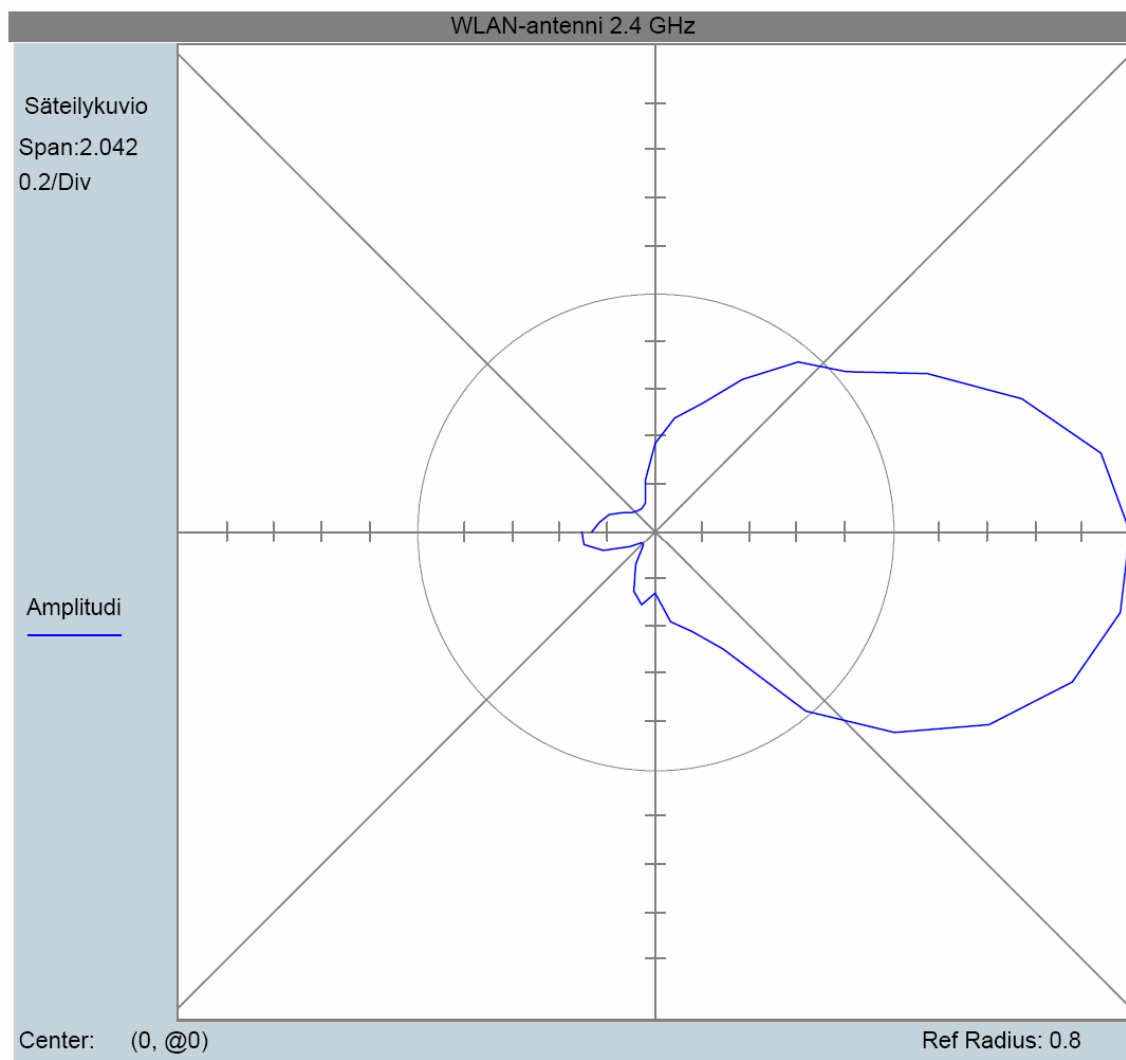


Kakkuvuoka-antennin paluuvaimennus ilman suojakupua



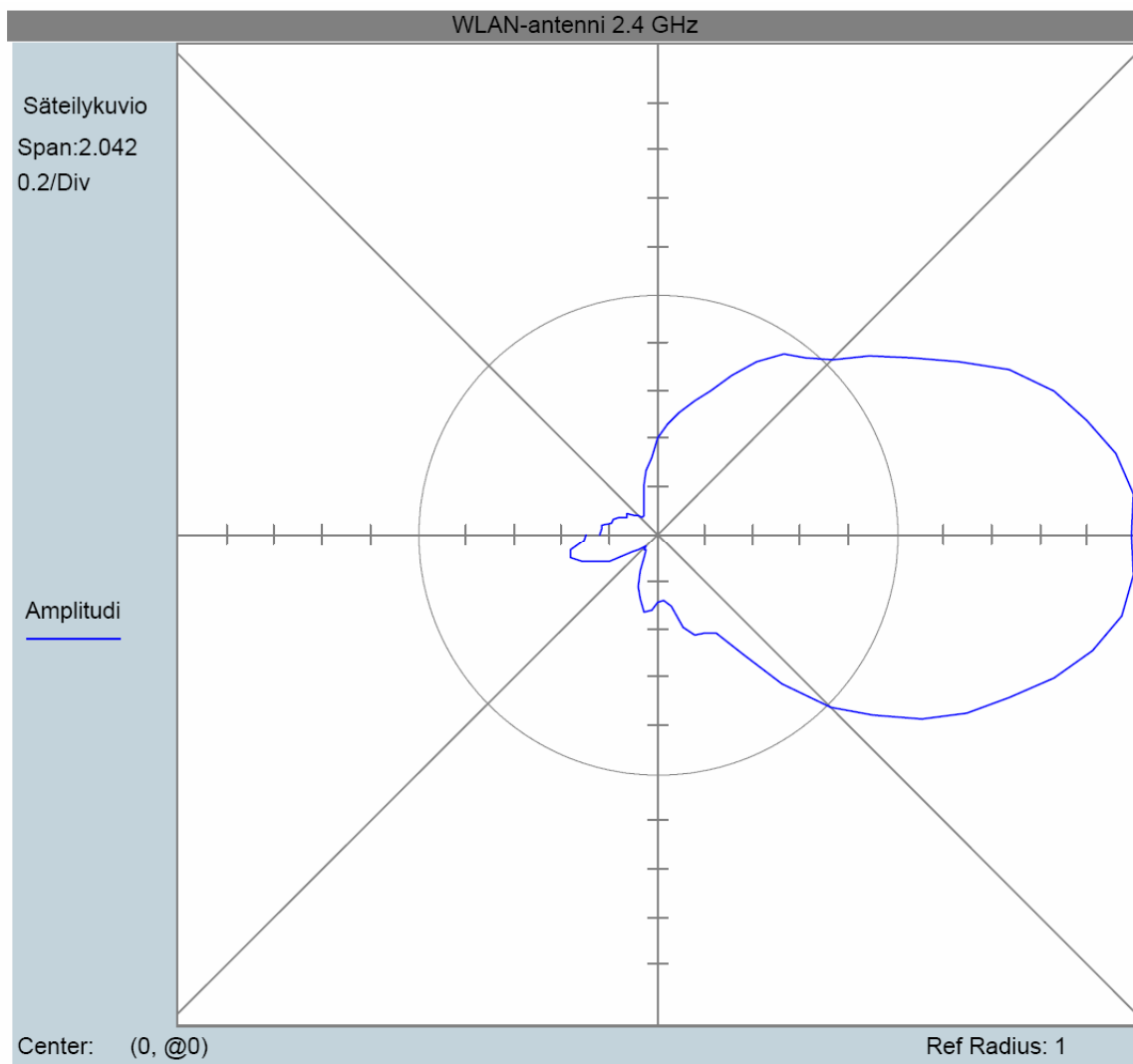
Aaltoputkiantennin säteilykuvio

Pystypolarisaatio 10 väliä



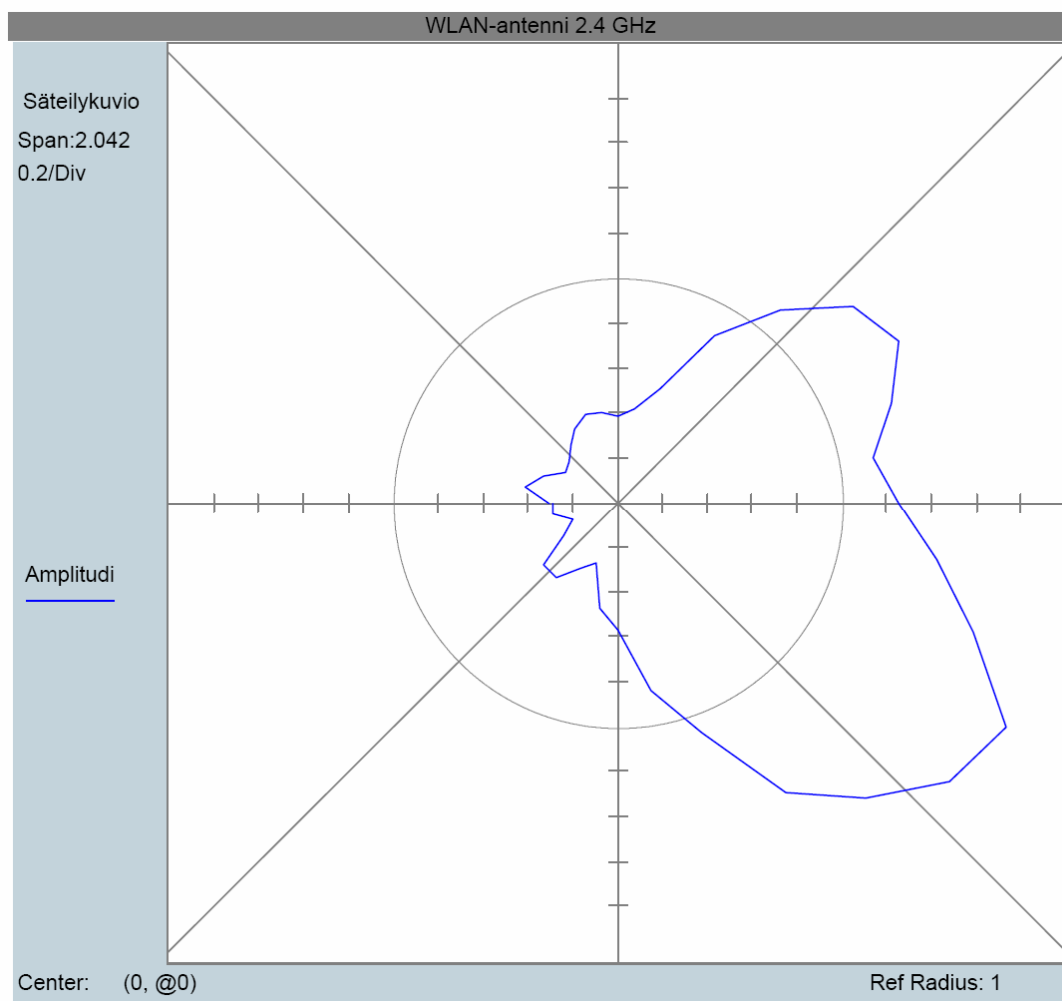
Aaltoputkiantennin säteilykuvio

Pystypolarisaatio 5 väliä



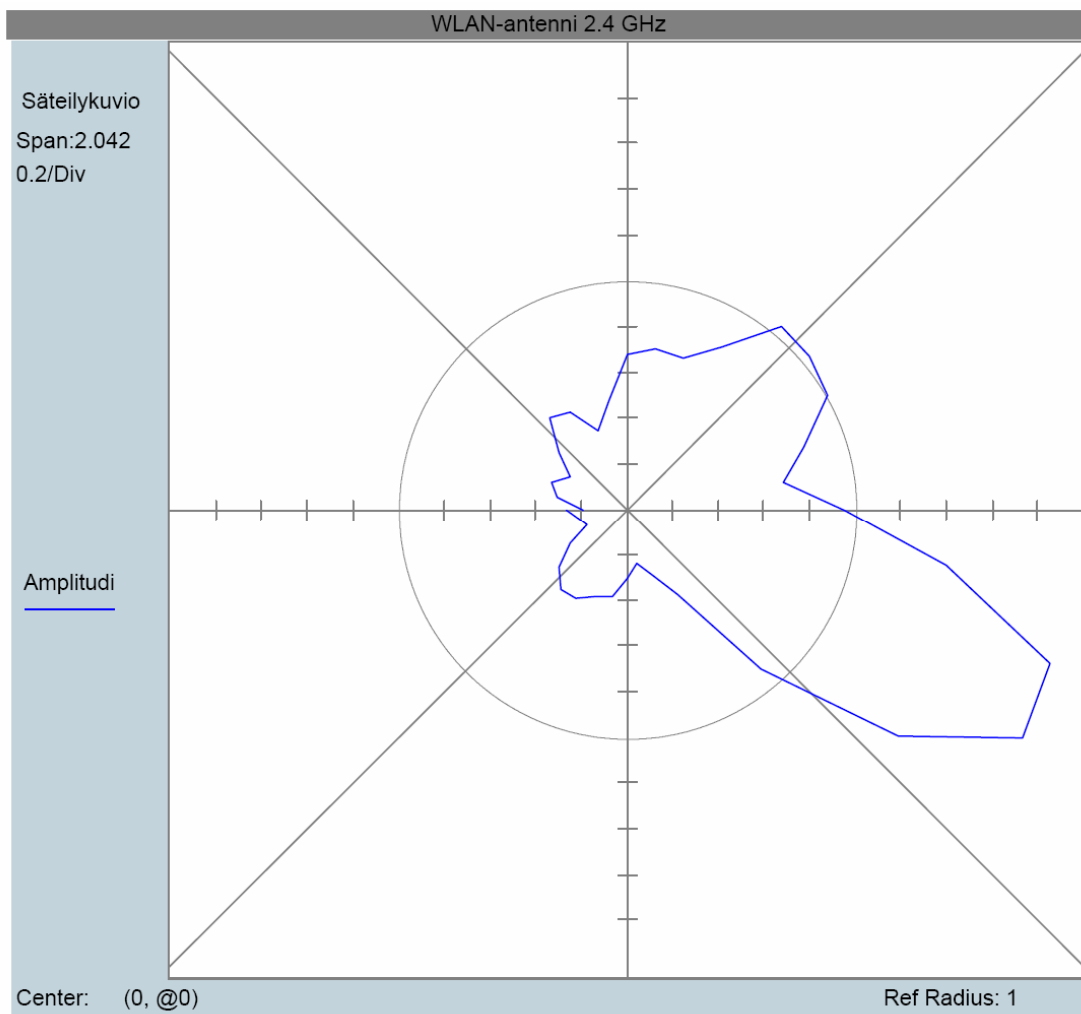
Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio

Pystypolarisaatio ilman suojakupua



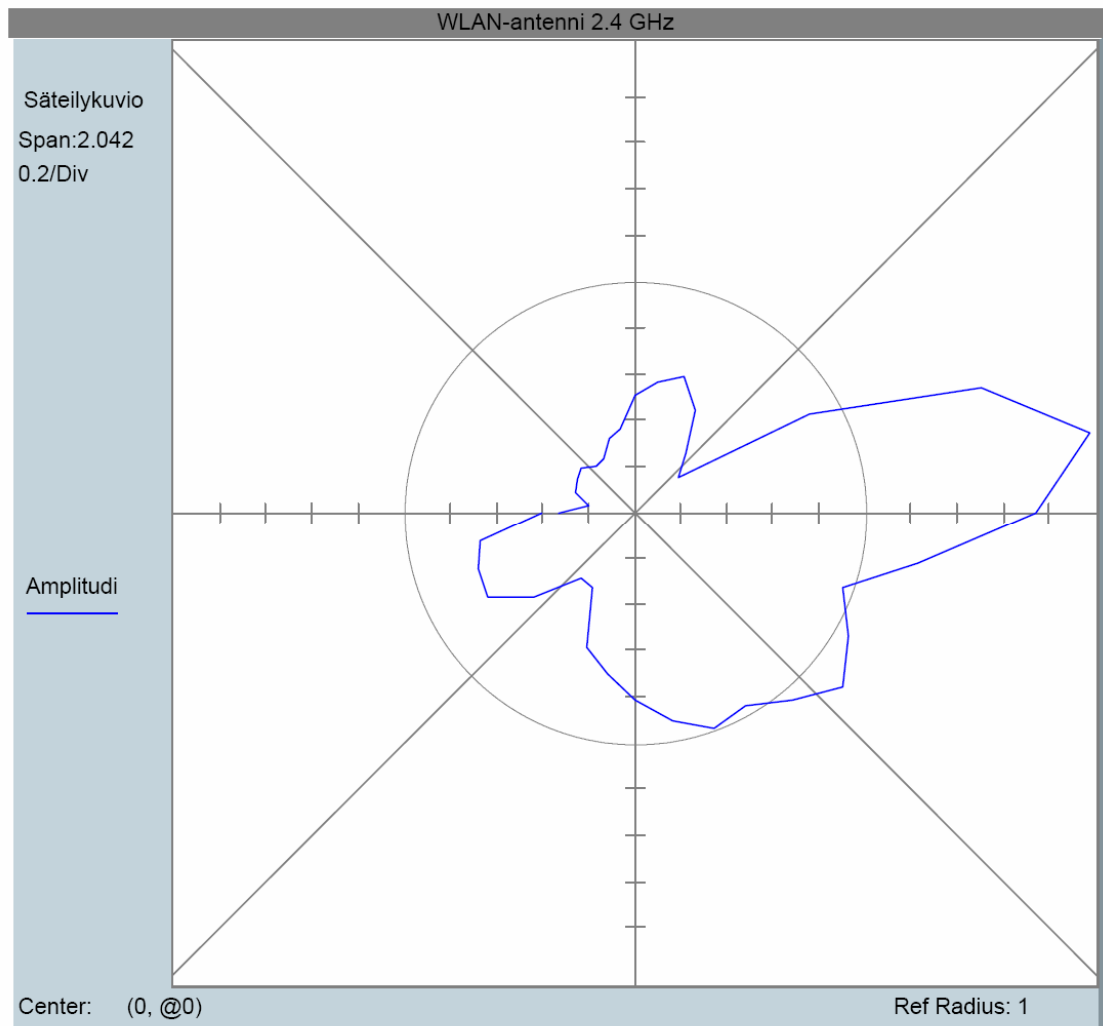
Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio

Vaakapolarisaatio ilman suojakupua



Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio

Pystypolarisaatio suojakuvun kanssa



Kakkuvuoka-antennin säteilykuvio

Vaakapolarisaatio suojakuvun kanssa

