

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka

**Joel Lehtomäki**

**@450-verkon loppukäyttäjän antenniratkaisut**

Insinööriytyö 4.12.2009

Ohjaaja: järjestelmäsuunnittelija Mikko Huttunen  
Ohjaava opettaja: yliopettaja Antti Piironen

## **Alkulause**

Tämä insinööri työ tehtiin Digita Oy:lle. Työn aiheena oli selvittää markkinoilla olevat antennit sekä vertailla niiden ominaisuuksia. Antenneja etsittiin neljään eri ryhmään, jotka ovat suunta-antennit, ympärisäteilevät antennit, sisäänantennit sekä reporteriantennit.

Tässä työssä käydään läpi teoreettisella tasolla @450-langattoman laajakaistan toimintaperiaate sekä radiotekniikan perusteita. Tutkimustyössä tutkitaan antennien toimivuutta @450-laajakaista verkossa.

Digita Oy halusi tietoa markkinoilla olevista antenneista sekä niiden sopivuudesta @450-langattoman laajakaista verkon käytössä. Ennen tätä tutkimustyötä ei ollut tiedossa, kuinka paljon ja kuinka laadukkaita antenneja on myynnissä. Myynnissä olevia antenneja ei ollut testattu lainkaan Suomessa, muutamia antennien pikatestejä lukuun ottamatta.

Eriytinen kiitos työn ohjaaja Mikko Huttuselle. Kiitos myös Ari Saariselle, Tero Lindstetille, kollega Tapio Syrmälle sekä kannustavalle vaimolleni.

Espoossa 4.12.2009

Joel Lehtomäki

Tekijä	Joel Lehtomäki
Otsikko	@450-verkon loppukäyttäjän antenniratkaisut
Sivumäärä	51 sivua
Aika	4.12.2009
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	järjestelmäsuunnittelija Mikko Huttunen
Ohjaava opettaja	yliopettaja Antti Piironen
<p>Tutkinnan kohteena ovat @450-langattoman laajakaistan antennit päätelaitteisiin. Antennit valittiin tutkimukseen mukaan neljästä eri ryhmästä jotka ovat suunta-antennit, ympärisäteilevät antennit, sisä-antennit ja reportteriantennit.</p> <p>Tässä työssä käydään läpi teoreettisella tasolla @450-langattoman laajakaistan toimintaperiaate sekä radiotekniikan perusteita. Tutkimustyössä tutkittiin antennien toimivuutta @450-laajakaista verkossa, sekä antennien fyysisiä ominaisuuksia.</p> <p>Digita Oy halusi tietoa markkinoilla olevista antenneista sekä niiden sopivuudesta @450-langattoman laajakaista verkon käytössä. Ennen tätä tutkimustyötä ei ollut tiedossa, kuinka paljon ja kuinka laadukkaita antenneja on myynnissä. Myynnissä olevia antenneja ei ollut testattu lainkaan Suomessa, muutamia antennien pikatestejä lukuun ottamatta.</p> <p>Erilaisille antenneille tehtiin niiden normaalia käyttöä simuloivat mittaukset. Kaikista mittauksista tehtiin taulukot joista voidaan tutkia antennien suorituskykyä eri osa-alueilla. Cell-Master mittalaitteella mitattiin jokaisen antennin sovitus @450-verkon käytössä olevalle taajuusalueelle.</p> <p>Testeissä antenneista löydettiin paljon eroavaisuuksia. Suurin osa antenneista suoriutui testeistä hyvin, vaikkakin osalla antenneista oli suuria ongelmia. Mittaustuloksista voidaan tutkia jokaista osa-aluetta erikseen tai vaihtoehtoisesti voidaan katsoa antenneille laskettua kokonaisuutta kuvaavaa arvosanaa. Mittaustuloksia tutkimalla voi helposti löytää sopivan antennin eri käyttötarkoituksiin.</p> <p>Tämän tutkimuksen perusteella kokonaisuudessaan toimivin reportteriantenni on Lairdin valmistama Y4503 ja toiseksi toimivin on Completechin CA450D. Nämä molemmat kestävät kovaa käyttöä ja räsitusta, jotka ovat tärkeimmät ominaisuudet RF-ominaisuuksien lisäksi.</p>	
Hakusanat	@450, antennit, FLASH-OFDM

## Helsinki Metropolia University of Applied Sciences    Abstract

Author	Joel Lehtomäki
Title	End-user antenna solutions for the @450 network
Number of Pages	51
Date	4 December 2009
Degree Programme	Information Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Mikko Huttunen, System Designer
Supervisor	Antti Piironen, Principal Lecturer
<p>This thesis is concerned with antennas used in @450 wireless broadband end devices. The antennas for the study have been chosen from four different groups: directional antennas, monopole antennas, indoor antennas and reporter antennas.</p> <p>The operation principle of @450 wireless broadband as well as the basics of radio technology are discussed theoretically. The study covers both the functionality and the physical properties of the antennas in the @450 wireless broadband network.</p> <p>Digita Oy requested information on antennas available in the market and their suitability for the use of the @450 wireless broadband network. No information was available on the number and quality of antennas on sale before this study. In Finland, no tests have previously been carried out for antennas on the market except for a few occasional quick tests.</p> <p>Measurements simulating the normal use of the antennas were carried out. All measurement results were recorded in tables to present their performance in the different sub-categories. The adaptation of every antenna at the frequency range used by the @450 network was measured with Cell-Master measurement equipment.</p> <p>Many differences were detected between the antennas. The performance of most antennas was acceptable though some of the antennas did not function well. The different sub-categories of antennas or their total performance assessment can be studied from the measurement results, whereby the choice of the best-suited antenna for different applications is made easier.</p> <p>According to the results of this study the two best performing antennas were Laird Y4503 reporter antenna and Completech CA450D antenna, respectively in this order. Both withstand hard wear and stress, these being the most important properties apart from RF.</p>	
Keywords	@450, antennas, FLASH-OFDM

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	@450-langaton laajakaista	2
2.1	Tiedonsiirtotekniikka	2
2.2	Radorajapinta	4
2.3	Verkkoarkkitehtuuri	6
3	Radioaallot	9
3.1	Taajuudet	9
3.2	Lähi- ja kaukokenttä	9
3.3	Radioaaltojen etenemismekanismit	10
3.4	Radioaaltojen ominaisuuksia	10
4	Antennit	13
4.1	Antennien hankinta	13
4.2	Suunta-antennit	13
4.3	Ympärisäteilevät antennit	14
4.4	Sisäantennit	15
4.5	Reportteriantennit	15
5	Mittaukset	15
5.1	Mittausten suunnittelu	16
5.1.1	Antenniryhmien testaussuunnitelmat	17
5.2	Mittausten toteutus	18
5.3	Mittaustulokset	21
5.3.1	Mittaustulosten analysointi	21
5.3.2	Mitatut suureet	22
5.3.3	Antennit	23
6	Johtopäätökset	28
	Lähteet	30

## Liitteet

Liite 1: Tilatut antennit	32
Liite 2: CSV-tiedosto	33
Liite 3: Mitatut parametrit	34
Liite 4: Pilot PWR, TX0 backoff ja RX0 SNR esimerkki kaaviot	36
Liite 5: Mitatut käyrät antennien paluuvaimennuksesta	37
Liite 6: FMDM-mittaohjelma	41

## Lyhenteet ja symbolit

AAA	<i>Authentication Authorization Accounting</i> ; protokolla, jolla toinen osapuoli tunnistetaan, valtuutetaan ja tilastoidaan verkossa.
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> ; kuparisessa puhe- linlinjassa toimiva tiedonsiirtotekniikka. Perustuu OFDM-modulointiin.
ARQ	<i>Automatic request for retransmission</i> ; automaattinen uudelleenlähetysoyntö.
ASK	<i>Amplitude-Shift Keying</i> ; digitaalinen amplitudinsiirto- modulointimenetelmä
BPSK	<i>Binary Phase-Shift Keying</i> ; modulointimenetelmä, kaks- ivaiheinen vaiheavainnus.
CDMA	<i>Code Division multiple Access</i> ; koodijakokanavointi, radiotien kanavanvaraustekniikka
CSV	<i>Comma Separated Values</i> ; tiedostomuoto, jolla tallette- taan yksinkertaista taulukkoataa.
EAP	<i>Extensible Authentication Protocol</i> ; käyttäjien tunnis- tusprotokolla, jonka avulla käyttäjän tiedot noudetaan AAA:sta.
EUI-64	<i>Extended Unique Identifier</i> ; 64-bittinen tunnistekoodi, joka on jokaisen terminaalin yksilöllinen tunnistekoodi, joita hallinnoi IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> ; myötä- ja paluukanavalle on omat taajuusalueet.
FFH	<i>Fast Frequency Hopping</i> ; nopea taajuushyppely, jossa liikutaan aika- ja taajuustasossa tietyn algoritmin mu- kaisesti.
Flash-OFDM	<i>Fast Low-latency Access with Seamless Handoff, Ort- hogonal Frequency Division Multiplexing</i> ; OFDM- modulointiin perustuva mobiili tiedonsiirtotekniikka. Käytössä @450-verkossa.

FMDM	<i>Flarion Mobile Diagnostic Monitor</i> , mittaohjelma Flash-OFDM –tekniikalle. Rekisteröity ohjelma, jonka omistaa Qualcomm.
FMLP	<i>Flarion Mobile Log Processor</i> , FMDM-mittaohjelman lokitiedostojen käännösohjelma. Omistaja Qualcomm.
GHz	<i>Gigahertsi</i> ; kansainvälisen yksikköjärjestelmän mukainen taajuuden yksikkö.
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> ; matkapuhelinjärjestelmä, jota käytetään maailmanlaajuisesti.
HA	<i>Home Agent</i> , hallinnoi MIP-protokollaa. HA on reitin @450-runkoverkon ja palveluntarjoajien välissä.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ; kansainvälinen tekniikan alan standardisointijärjestö.
IP	<i>Internet Protocol</i> ; verkkotason protokolla, jonka päällä esimerkiksi TCP ja UDP toimivat.
Iperf	Komentoikkunassa toimiva ilmaisuohjelma, jolla voi generoida TCP- ja UDP-liikennettä. Miperf on mobiili versio iperf-ohjelmasta.
Kbit	<i>Kilobittiä</i> ; tuhat bittiä, tallennuskapasiteetin suure.
LOS	<i>Line of Sight</i> , suora näköyhteys kahden pisteen välillä.
MAC	<i>Media Access Control</i> ; OSI-protokollapinon siirtoyhteyskerros.
Mbit/s	<i>Megabittiä sekunnissa</i> ; tiedonsiirtonopeuden suure.
MHz	<i>Megahertsi</i> ; kansainvälisen yksikköjärjestelmän mukainen taajuuden yksikkö.
MIP	<i>Mobile Internet Protocol</i> ; IP-protokollan laajennus mobiileihin sovelluksiin.
MNS	<i>Mobile Network Server</i> , palvelin, joka avustaa tukiasemaa ja päätelaitetta tukiaseman vaihdossa.
NMT	<i>Nordiska Mobiltelefongruppen</i> myöhemmin <i>Nordisk Mobiltelefon</i> ; poistunut yleispohjoismainen radiopuhelinverkko.



OFDM	<i>Ortogonal Frequency-division Multiplexing</i> ; modulointi menetelmä, joka perustuu tiedonsiirtoon monella toisinaan häiritsemättömällä taajuuskanavalla yhtä aikaa.
OSI-viitemalli	<i>Open Systems Interconnection Reference Model</i> ; ISO-standardoitu, seitsemän kerroksinen tiedonsiirto-protokollien kuvausviitemalli.
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Card International Association</i> ; tietokoneen laajennuskorttipaikka.
PSK	<i>Phase Shift Keying</i> ; digitaalinen vaihemodulointimenetelmä, josta käytössä monta versiota kuten BPSK ja QPSK
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> ; modulointitekniikka digitaaliseen tiedonsiirtoon. Yhdistelmä PM- ja AM-moduloinnista.
QoS	<i>Quality of Service</i> ; tekniikka tietoliikenteen luokitteluun ja priorisointiin.
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> ; modulointimenetelmä. Nelivaiheinen vaiheavainnus.
Rx Pilot Power	Vastaanotetun Pilot-kanavan tehoa ilmaiseva suure.
SNR	<i>Signal Noise Rate</i> ; signaali- ja kohina tehon-suhde.
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i> ; tukiaseman etähallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla.
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> ; tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille.
TDF	<i>TéléDiffusion de France</i> ; ranskalainen telealankonserni, joka omistaa Digita Oy:n.
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> ; alijakokanavointi, jossa lähetettävä data jaetaan pienempiin kehyksiin, jotka lähetetään eri aikaan.
Tx DCCH Backoff	DCCH tulee sanoista <i>Dedicated Control CHannel</i> , eli yhteyskohtainen ohjauskanava. Tx DCCH Backoff määrää lähtevän signaalin tehon.
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> ; yhteyskäytäntöprotokolla paketien lähettämiseen. Yhteys on epäluotettava.

UMTS

*Universal Mobile Telecommunications System*; kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologia.

USB

*Universal Serial Bus*; sarjaväyläarkkitehtuuri ohjelaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.

## 1 Johdanto

Kaikki langaton tiedonsiirto tarvitsee antennija, niin myös @450-langaton laajakaista. Tässä työssä tarkastellaan langattomaan tiedonsiirtoon, radiotekniikkaan, verkkoarkkitehtuuriin sekä antenneihin liittyvää sovelluskenttää.

Tutkinnan kohteena ovat @450-langattoman laajakaistan antennit päätelaitteisiin. Antennit on valittu tutkimukseen mukaan neljästä eri ryhmästä, jotka ovat suunta-antennit, ympärisäteilevät antennit, sisäantennit ja reportteriantennit.

Työssä tutkitaan kokeellisesti antennien ominaisuuksia oikeassa käyttöympäristössä. Mittauksia suoritettiin eri paikoissa riippuen antennin käyttötarkoituksesta. Ennen mittausten aloittamista piti etsiä, valita ja hankkia sopivat antennit. Näihin kolmeen vaiheeseen kului arviolta yhtä paljon aikaa kuin itse mittausten toteuttamiseen ja analysointiin. Tärkein tehtävä oli löytää paras antenni reporttereille. Lisäksi piti selvittää muiden antenniryhmien tarjonta sekä löytää näistä ryhmistä käyttötarkoitukseen sopivin antenni.

Digita Oy on Suomen johtava langattomien viestintäverkkojen verkkooperaattori sekä merkittävä tietoliikenneverkkojen ja verkkoinfrastruktuurin kehittäjä. Digitan maan kattava organisaatio varmistaa palveluiden korkean laadun ympäri vuorokauden. Digitan asiakkaita ovat tv- ja radioyhtiöt sekä mobiili- ja laajakaistaoperaattorit. Yhtiössä työskentelee 380 henkilöä. Digita kuuluu kansainväliseen TDF-konserniin. /1./

Digitan tärkeimmät palveluita ovat DigiTV, MobiiliTV, Verkko- ja Site-palvelut, Smartjog ja ohjelmansiirtopalvelut sekä @450-laajakaista.

Digita Oy, entinen Yleisradion jakelutekniikka, vastaa valtakunnallisten televisio- ja radio-ohjelmien lähetys- ja siirtoverkosta sekä radio- ja televisioasemista Suomessa. Maanlaajuiseen lähetysverkkoon kuuluu 36 pääasemaa, 101 täytelähetinasemaa ja kymmeniä ohjelmansiirron linkkiasemia. Digitan verkonhallintakeskus ylläpitää ja valvoo lähetysverkon toimintaa ja kaikkien lähetysten teknistä laatua 24 tuntia vuorokaudessa. /2./

## 2 @450-langaton laajakaista

Digitan @450-langaton laajakaista tarjoaa yksityisille henkilöille ja yrityksille nopeat tietoliikenneyhteydet lähes koko Suomeen. Peittoalue kattaa noin 99 prosenttia Suomen väestöstä vuoden 2009 lopussa. @450-verkon etuja ovat esimerkiksi mobiili käyttö, laaja peittoalue sekä pieni vasteaika. Yhteys voi toimia yli 50 kilometrin päässä tukiasemasta. /3; 4./

### 2.1 Tiedonsiirtotekniikka

@450-laajakaista käyttää entistä NMT-verkon taajuusaluetta, joka vapautui vuonna 2002. Laajakaista toimii matalalla taajuusalueella, joten yksi tukiasema kattaa laajan maantieteellisen alueen. Radiorajapinta perustuu FLASH-OFDM-tekniikkaan, jonka on kehittänyt Flarion (nykyisin Qualcomm). Verkossa saavutettavat nopeudet ovat käytännössä latausnopeus yksi megabittiä sekunnissa ja lähetysnopeus 512 kilobittiä sekunnissa. Hetkellisesti latausnopeus voi olla teoriassa 5,3 megabittiä sekunnissa. Verkko kattaa nyt noin 99 prosenttia Suomen väestöstä ja loma-asutuksesta. /5; 6./

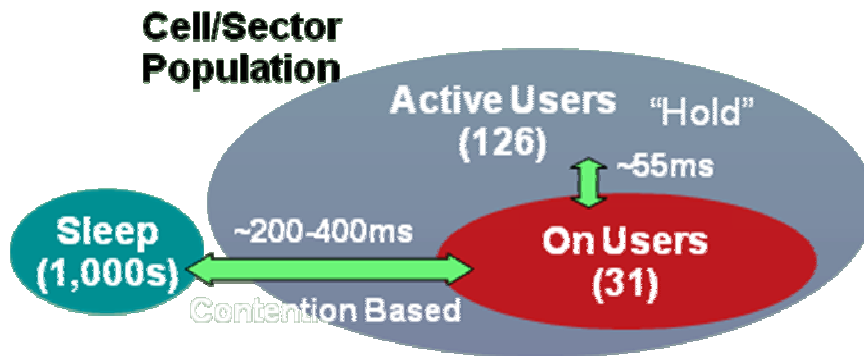
Tarkemmat tiedot teknologiasta ovat salaisia Qualcommin pyynnöstä ja Suomessa vain Digitan käytössä, joten tämän insinööriyön lähdetiedot Flash-OFDM-tekniikasta ovat pääsääntöisesti julkisista lähteistä.

### Fyysinen kerros

Tiedonsiirrossa käytetään hajaspektritekniikkaa, jossa käytettävä taajuuskaista jaetaan usealla rinnakkaiselle kantaosalle, joilla tietoa lähetetään samanaikaisesti. Informaatio jaetaan taajuushyppelyn avulla näillä rinnakkaisille kantaosalle. FLASH-OFDM-tekniikka päihittää CDMA- ja TDMA-tekniikat hajaspektritekniikan ja ortogonaalisten kanavien avulla. /7./

### MAC-tilat ja tilasiirtymät

MAC (Media Access Control) -kerros jakaa fyysisenkerroksen resurssit käyttäjien kesken. FLASH-OFDM-tekniikassa käytetään kolmea MAC-tilaa (ks. kuva 1), jotka ovat Lataaja (On User), Selaaja (Active User) ja Nukkuja (Sleep) /7./



Kuva 1 Mac- tilat ja tilasiirtymät /7./

### Siirtokerros

Siirtokerroksessa jaetaan fyysisen kerroksen tiedonsiirtoväylä verkon käyttäjille. Siirtokerroksessa on parannettu QoS (Quality of Service) ja ARQ (Automatic Repeat-reQuest) eli nopea automaattinen uudelleenlähetyksen menetelmä, jota käytetään, kun vastaanotetussa informaatiossa on virheitä. Näillä saavutetaan pienemmät viiveet ja parempi toimintavarmuus.

FLASH-OFDM:ssä on mahdollista priorisoida liikennettä, jolla voidaan taata pieniä viiveitä kaipaavien palveluiden laatu. Suomessa on käytössä tiedonsiirto rajat, yhteyttä ei laiteta poikki rajan ylittyessä vaan liittymän prioriteettia laskeaan. Jos tukiasemassa ei ole kuormituksen alaisena, toimii liittymä normaalilla nopeudella. Jos tukiasemassa on paljon käyttäjiä ja tiedonsiirtoraja on ylitetty, liittymän nopeus laskee. /7./

### Verkkokerros

Radioreititintukiasemassa on yhdistetty langaton tukiasema ja IP-reititin. Tämän tukiaseman avulla informaatio saadaan käyttäjiltä runkoverkkoon. Tukiasemien ei tarvitse tietää viereisten solujen tukiasemista eikä niiden välillä tarvita taajuudenajoitusta eikä synkronointia.

Radioreititintukiasema, johon päätelaiteet ottavat yhteyden, on tarkoitettu liitettäväksi IP-pohjaiseen tietoverkkoon ja ne ovat yhteensopiva IEEE-standardien kanssa. Tukiasemalta informaatio kulkee Digitan verkon kautta palveluntarjoajienverkkoon, josta on yhteys Internetiin. /7./

## 2.2 Radiorajapinta

### FLASH-OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) -teknologia syntyi 1960- ja 1970-luvuilla, kun yritettiin minimoida interferenssi taajuuksien välillä, jotka sijaitsevat lähellä toisiaan. OFDM:ssä tiedonsiirto tapahtuu monella yhtäaikaaisella taajuuskanavalla, jotka eivät häiritse toisiaan. Data jaetaan näille vierekkäisille taajuuskanaville. Myös ADSL:ssä tekniikka käyttää OFDM-modulointia.

Flash-OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Handoff Orthogonal Frequency Division Multiplexing) käyttää 1,25 megahertsin FDD (Frequency Division Duplex) -kanavaa tiedonsiirtoon. Flash-OFDM käyttää tiedonsiirron kuvaamiseen OSI-viitemallia. Suomessa kanavia on käytössä kaksi. Tekniikka mahdollistaisi kolmen kanavan käytön, kolmea kanavaa käytetään esimerkiksi Slovakiassa. 1,25 megahertsiä leveä kanava koostuu useasta alikanavasta. Alikanava käyttää taajuushyppelyä ortogonaalisten apukantoaaltojen välillä. FFH:n (Fast Frequency Hopping) eli taajuushyppelyn ansiosta häiriöt keskiarvoistuvat alikanavissa. Vaikka taajuusalue on matala, saavutetaan kuitenkin suuri nopeus käyttämällä yli sataa apukantoaaltoa kanavaa kohti. Vasteaika on noin 50 millisekuntia, joka mahdollistaa esimerkiksi videoneuvottelut ja verkkopelit. /8./

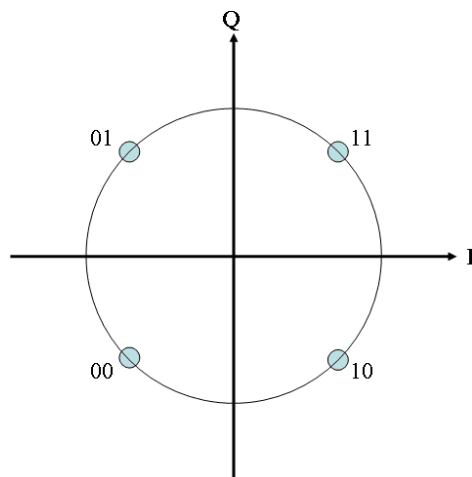
### PSK

PSK-modulaatiossa (Phase-Shift Keying) muutetaan kantaallon vaihetta moduloivan signaalin mukaan. BPSK:ssa (Binary Phase-Shift Keying) vaihetta muutetaan 180 astetta aina kun bitti vaihtaa tilaa. Jos bitti on sama kuin edellinen bitti, signaalin vaihetta ei muuteta. Toisin sanoen käytetään kahta vaihetta kuvaamaan bittejä:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & ,1 \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & ,0 \end{cases} = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & ,1 \\ -A \cos(2\pi f_c t) & ,0 \end{cases} \quad (1)$$

jossa  $f_c$  on kanta-aallon taajuus ja 0 ja 1 on bitin tila.

FLASH-OFDM:ssä käytetään QPSK:ta (Quadrature Phase Shift Keying) jossa on neljä vaihe-eroa (ks. kuva 2). Tällöin saadaan siirretyksi kaksi bittiä jakson aikana. Tällöin vaihe-ero edelliseen signaaliin verrattuna on 0, 90, 180 tai 270 astetta. /9./



Kuva 2. QPSK -vaihe-erot /9./

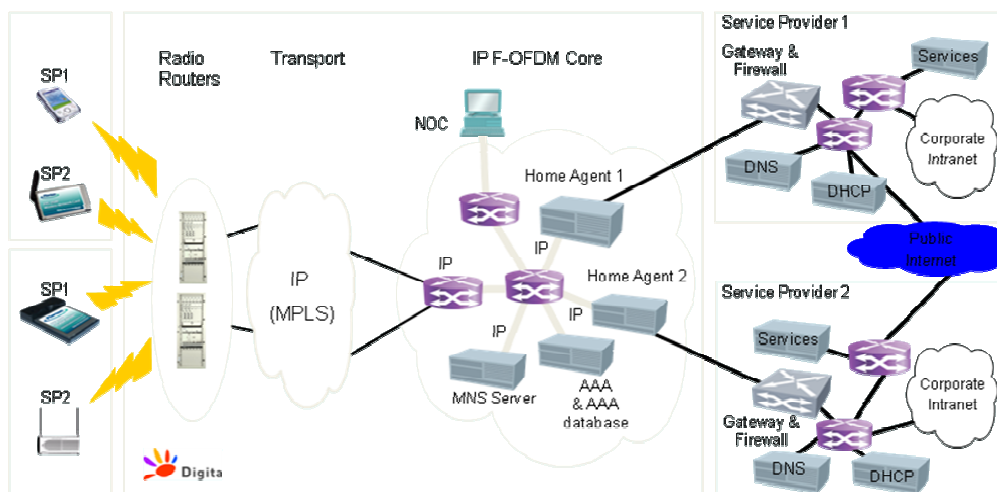
## QAM

QAM-modullaatiossa (Quadrature Amplitude Modulation) yhdistetään signaalin vaihe-ero (PSK, Phase Shift Keying) ja signaalin voimakkuus (ASK, Amplitude-Shift Keying) yhdeksi kokonaisuudeksi. Näiden määriä kasvattamalla saadaan jokaisen jakson aikana siirrettyä useampia bittejä kerrallaan.

FLASH-OFDM:ssä käytetään 16-QAM-, 64-QAM- ja 256-QAM-modulaatioita. 16-QAMissa on neljä amplitudia ja neljä vaihe-eroa, kun taas 256-QAMissa on kuusitoista amplitudia ja kuusitoista vaihe-eroa. 256-QAMissa amplitudien vaihtelulla pystytään siirtämään neljä bittiä kerralla ja vaihe-eron avulla toiset neljä bittiä, joten yhden jakson aikana siirtyy 8 bittiä. /9./

### 2.3 Verkkoarkkitehtuuri

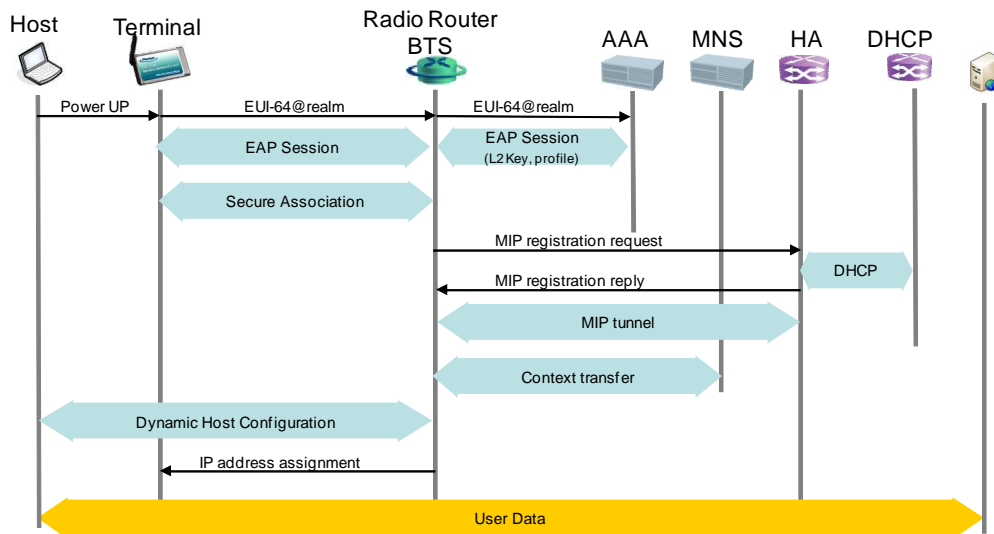
Verkko koostuu viidestä lohkosta, jotka on esitelty kuvassa 3, jossa ovat terminaali eli päätelaite, Radio Router eli tukiasema, siirrosta tukiasemalta ytimeen (IP-FLASH-OFDM-Core), jossa hoidetaan muun muassa tunnistus ja reititys oikealle palveluntarjoajalle ja Service Provider eli palveluntarjoajan oma verkko, josta on yhteys Internetiin. /10./



Kuva 3. Yhteys päätelaitteelta julkiseen verkkoon /10./

Yhteyden muodostus Internetiin alkaa, kun päätelaite alkaa kuunnella tukiasemien signaaleja. Näistä signaaleista päätelaite valitsee parhaimman signaali-kohinasuhteen omaavan tukiaseman. Seuraavaksi päätelaite tunnistetaan EUI-64@realm tunnisteen avulla AAA (Authentication, Authorization ja Accounting) -palvelimelta. Kun tunnistus on valmis, luodaan MIP (Mobile IP) -tunneli HA:n (Home Agent) ja RR:n (Radio Router) välille. Tunnelin avulla päätelaite saa palveluntarjoajalta IP (Internet Protocol) -osoitteen DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) -avulla. Tämän jälkeen yhteys on avoinna. Kokonaisuudessaan yhteyden muodostus on esitetty kuvassa 4. /10./





Kuva 4. Yhteyden muodostus /10./

Tukiaseman vaihdossa avustaa MNS (Mobile Network Server) -palvelin, joka lähettää päätelaitteen tiedot seuraavalle tukiasemalle valmiiksi, jolloin tunnistusprosessia ei tarvitse tehdä uudestaan. Tämän ansiosta tukiaseman vaihto onnistuu ilman yhteyden katkeamista ja pakettihukkaa. FLASH-OFDM-verkossa päätelaite tekee päätöksen, mitä tukiasemaa kulloinkin käytetään, toisin kuin GSM- ja UMTS-verkoissa. /10./

### Tukiasema

RadioRouter@2000, tukiasema (ks. kuvat 3 ja 4) tukee kolmea eri taajuuskanavaa. Rikkoutuneet moduulikortit voidaan vaihtaa sammuttamatta tukiasemaa. Tukiaseman hallinta onnistuu SNMP-käyttöliittymää käyttävää FlashView™ Element Management Systemillä. Tukiasema voi käyttää kahta taajuutta 450 megahertsiä ja 870 megahertsiä, 870 megahertsin taajuus ei ole Suomessa käytössä. Tukiasemassa on reititin, joka tukee kaikkia IP-järjestelmiä. /11./

Tukiasemia on solukokoonpanoltaan kahdenlaisia: soluja on joko kolme tai yksi. Kolmen solun kokoonpano on toteutettu kolmella antennisektorilla. Yhden solun kokoonpanossa voi sektoreita olla yksi tai kolme. Diversiteetti on käytössä molemmissa versioissa vain vastaanottoon (downlink). Tukiasemien lähetysantennit ovat ristipolarisoituja paneeliantenneja /11./

## **Mobility Manager**

Mobility Manager on ohjelma, joka tarjoaa käyttöliittymän USB-modeemille ja PCMCIA-korttimodeemille. Mobility Managerilla nähdään yhteyden tila, yhteyden kesto aika, lähetetyt ja vastaanotetut kilotavut, signaalin voimakkuus ja signaalin laatu. Toimintoja ovat yhteyden käyttöönotto, yhteyden poistaminen käytöstä, ohjelman lopettaminen ja ohjelman päivittäminen. Ohjelma toimii Windowsissa, Linuxissa ja Macintoshissa. /12./

## **USB-modeemi**

Leadtekin valmistama USB-modeemi tarvitsee vapaan USB-portin tietokoneesta, johon se voidaan liittää. USB-modeemi voidaan avata, jolloin USB-modeemin oma antenni saadaan käyttöön. USB-modeemissa on SSMB-liitin, johon voidaan liittää ulkoinen antenni sisäisen antennin korvaajaksi. USB-modeemi tarvitsee ajurin ja Mobility Managerin toimiakseen. /12./

## **PCMCIA-korttimodeemi**

Qualcommin valmistama PCMCIA-korttimodeemi tarvitsee vapaan PCMCIA-korttipaikan tietokoneesta, johon se voidaan laittaa. PCMCIA-korttimodeemi on tällä hetkellä suosituin FLASH-OFDM-päätelaite. PCMCIA-korttimodeemiissa on SSMB-liitin, johon voidaan liittää ulkoinen antenni sisäänrakennetun antennin korvaajaksi. PCMCIA-korttimodeemi tarvitsee ajurin ja Mobility Magerin toimiakseen. /12./

## **Pöytämodeemi**

Qualcommin valmistama pöytämodeemi voidaan liittää tietokoneeseen joko ethernet-kaapelilla tai USB-johdolla. Ethernet-kaapelilla käyttö ei vaadi ohjelmistoa toimiakseen. USB-johdolla käytettäessä pöytämodeemi tarvitsee ajurin toimiakseen. Pöytämodeemissa on Web-pohjainen käyttöliittymä, josta nähdään yhteyden tila, yhteyden kesto aika, Lähetetyt ja vastaanotetut kilotavut, signaalin voimakkuus ja signaalin laatu sekä lähetys että vastaanottoon. Käyttöliittymästä voidaan myös ottaa yhteys käyttöön sekä poistaa käytöstä. Pöytämodeemissa on TNC-liitin, johon voidaan vaihtaa tapauskohtaisesti sopiva antenni. /13./

### 3 Radioaallot

Radioaallot ovat sähkömagneettista säteilyä, joiden avulla voidaan lähettää ja vastaanottaa informaatiota. Radioaallot etenevät valonnopeudella tyhjiössä. Radioaaltoja käytetään myös tutkissa ja mikroaaltouunissa.

#### 3.1 Taajuudet

MF-aluetta (Medium Frequency 0,3–3 MHz) käytetään lähinnä radion AM-keskiaaltolähetyksissä.

HF-aluetta (High Frequency 3–30 MHz) käytetään OTH-tutkassa (Over The Horizon –tutkassa) sekä radion AM-keskiaaltolähetyksissä.

VHF-aluetta (Very High Frequency 30–300 MHz) käytettiin Suomessa analogisiin TV-lähetyksiin. Alueella on lähetetty yli 50 vuotta FM-moduloituna (Frequency Modulation) radiohjelmiä. Tulevaisuudessa VHF-alueella lähetetään teräväpiirtolähetyksiä.

UHF-aluetta (Ultra High Frequency 0,3–3 GHz) käytetään Suomessa digitaalisiin TV-lähetyksiin, GSM-matkapuhelinjärjestelmässä (Global System for Mobile), WLAN-verkoissa sekä @450-verkossa.

SHF-alueen (Super High Frequency 3–30 GHz) alueen alapäätä käytetään WLAN-verkoissa ja alueen yläpäätä käytetään paljon linkkiyhteyksissä. /14./

#### 3.2 Lähi- ja kaukokenttä

Maxwellin mukaan lähi- ja kaukokentän raja on

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} = \frac{c \cdot f}{2 \cdot \pi}, \quad (2)$$

jossa  $\lambda$  on aallonpituus,  $c$  on valon nopeus ja  $f$  on taajuus. Tarkasteltaessa keskitaajuusaluetta saadaan kauko- ja lähikentän rajaksi

$$d = \frac{300000000 \text{ m/s} \cdot 460 \text{ MHz}}{2 \cdot \pi} = 0,104 \text{ m} \quad (3)$$

Lähikentässä sähkö- ja magneettikentät vääristävät tyhjän ominaisimpedanssia, kun taas kaukokentässä tätä vääristymää ei tule. @450-lajakaista toimii Maxwellin periaatteen mukaan aina kaukokentässä. /15./

### 3.3 Radioaaltojen etenemismekanismit

Radioaallot etenevät monella eri tavalla taajuudesta riippuen.

Kun radioaalto etenee näköyhteysreittiä pitkin (LOS, Line-Of-Sight propagation), radioaallon radiohorisontti on kauempana kuin geometrinen horisontti radioaallon kaartumisen vuoksi. Taajuusalue noin 30 MHz–300 GHz. @450-lajakaista toimii näköyhteysreittiä pitkin. /16./

Eteneminen ilmakehästä tapahtuvan sironnan avulla tapahtuu kun ilmakehän heterogeenisuuksista radioaalto siroaa (scattering). Taajuusalue on noin 0,3–10 GHz. /16./

Kun eteneminen tapahtuu ionosfäärin kautta, radioaalto heijastuu ionosfäärin kautta takaisin maahan (sky wave propagation), radioaalto voi heijastua maasta takaisin taivaalle. Radioaalto voi heijastua useita kertoja taivaan ja maan välillä. Heijastuminen ionosfääristä johtuu aaltojen taitumisesta. Taajuusalue on alle 30 MHz. /16./

Radioaallon seuratessa maanpintaa, sitä kutsutaan maanpinta-aalloksi (ground wave propagation). Maanpinta-aalto toimii muutaman MHz:n taajuusalueella. /16./

### 3.4 Radioaaltojen ominaisuuksia

Signaalit muodostuvat useista taajuuskomponenteista, jotka summautuvat antennissa ja jotka näkyvät vastaanottajalle yhtenä signaalina. Radioaallot käyttäytyvät eri tavoin kuin johtimissa kulkevat signaalit.

Radioaaltojen etenemiseen vaikuttaa useita tekijöitä, kuten vaimeneminen, sironna, häipyminen, monitie-etenemien, heijastuminen, taipuminen, ja doppler-

ilmiö. @450-laajakaistassa tapahtuu käytännössä jatkuvasti kaikkia seuraavia radioaaltoihin liittyviä ilmiöitä. /16./

### Vaimeneminen

Vaimeneminen tarkoittaa radioaallon tehon alentumista. Tällöin radioaallon amplitudi pienenee. Vaimenemiseen vaikuttaa useita tekijöitä kuten radioaallon taajuus, sää ja esteet. Vapaan tilan vaimennus saadaan kaavasta 4.

$$N = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2, \quad (4)$$

jossa  $d$  on etäisyys ja  $\lambda$  on aallonpituus. Tarkasteltaessa 460 MHz taajuutta vaimennus on kilometrin matkalla

$$N = 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi \cdot 10^3}{\frac{300 \cdot 10^6}{460 \cdot 10^6}} \right)^2 = 85.6969 \text{ dB} \quad (5)$$

### Sironta

Sironta tapahtuu, kun radioaalto osuu epätasaiseen pintaan. Jotta sironta tapahtuu, täytyy epätasaisuuden olla pienempi tai yhtä suuri kuin aallonpituus. Sironnassa radioaalto siroaa pinnasta eri suuntiin, jolloin syntyy uusia radioaaltoja. /16./

### Häipyminen

Hitaassa häipymisessä (slow fading) vastaanotetun signaalin keskiarvo muuttuu vastaanottimen liikkumisen takia. Tämä johtuu signaalitien muutoksista.

Nopeassa häipymisessä (fast fading) signaalin osasignaalit summautuvat yhteen, mistä aiheutuu voimakasta vaihtelua puolen aallonpituuden säteellä vastaanottimesta. Nopea häipyminen johtuu monitie-etenemisestä ja lähettimen liikkeestä.

Tasaisessa häipymisessä (flat fading) koko käytettävä taajuuskaista vaimenee saman verran.

Selektiivisessä häipymisessä taajuusalueen osa tai osat vaimenee eri suhteissa.

Rayleigh- häipymisessä signaalilla ei ole näköyhteyttä, vaan signaali saadaan heijastusten kautta vastaanottimeen.

Rician- häipymisessä signaalilla on näköyhteys sekä heijastukset. /16./

### **Monitie-eteneminen**

Kun radioaalto lähetetään vastaanottimeen, saapuu suoraan kulkenut signaali ensimmäisenä perille, tämän jälkeen vastaanottimeen tulevat heijastuneet signaalit. /16./

### **Heijastuminen**

Heijastuminen tapahtuu, kun radioaalto asuu tasaiseen esteeseen, pinnan pitää olla suurempi kuin aallonpituus, muuten kyseessä on sironta. Heijastuneella radioaallolla on sama aallonpituus, etenemisnopeus ja heijastuskulma kuin radioaallolla ennen heijastumista. /16./

### **Taipuminen**

Radioaallon taipuminen ja leviäminen tapahtuu, kun radioaalto osuu esteeseen. Erityisesti taipumista tapahtuu, kun radioaalto osuu tasaiseen radioaaltoa huonosti läpäisevään esteeseen. /16./

### **Doppler-ilmiö**

Kun radioaallon lähde ja kohde liikkuvat toisiinsa nähden, esimerkiksi autossa oleva päätelaite liikkuu tukiasemaan kohden, tapahtuu doppler-ilmiö. Tällaisessa tilanteessa tukiasemaan tulevien signaalien lukumäärä aikayksikköä kohden on suurempi kuin lähettimen tuottamien signaalien määrä. Tämä hankaloittaa signaalin tulkitsemista. /16./

## **Signaalin laatu**

Signaalin laatua kuvaa signaali-kohinasuhde (S/N, SNR, Signal to Noise Ratio). Mitä suurempi suhdeluku on, sitä parempi signaalin laatu on. Signaalikohinasuhde esitetään yleensä desibeleissä (dB).

## **4 Antennit**

Antenni on sähköinen johdin tai johdinjärjestelmä, jolla voidaan lähettää tai vastaanottaa signaaleja ilmasta. Antennin tarkoitus on siirtää signaali johtimen ja ilman välillä mahdollisimman tehokkaasti. Samaa antennia voidaan yleensä käyttää sekä signaalin lähettämiseen sekä vastaanottamiseen. Antennien perusominaisuuksia ovat säteilykuvio, säteilykeilan leveys, vastaanottokuvio ja sieppauspinta. Antennien vahvistus saadaan, kun verrataan antennin säteilykuvioita isotrooppisen antennin säteilykuvioon, jossa pistemäisestä kohteesta signaali säteilee samalla teholla kaikkiin suuntiin. Antenneja on montaa eri tyyppiä. Suunta-antennit ovat yleensä yagi- tai log-periodisia, ympärisäteilevät ovat yleensä maatasoantenneja, dipoliantenneja tai piiska-antenneja.

### **4.1 Antennien hankinta**

Antennien hankinta aloitettiin tutkimalla @450-antenniopasta. Tämän jälkeen selvitystä jatkettiin kyselyllä Digitan henkilökunnalta ja lopuksi etsimällä Internetistä valmistajia ja myyjiä. Mittaukseen osallistuvien antennien listan tekemiseen kului viikkoja ja lopulta listaan valikoitui 63 tutkimukseen soveltuvaa antennia. Näistä antenneista aloitettiin karsiminen erilaisin perustein, kuten hinta, toimitusaika, ominaisuudet ja lopuksi päällekkäisyydet. Tilattavien antennien listaan päätyi lopulta 24 erilaista antennia (ks. liite 1). Taulukoissa olevien antennien lisäksi mitattiin päätelaitteiden mukana toimitetut antennit sekä päätelaitteiden sisäänrakennetut antennit.

### **4.2 Suunta-antennit**

Suunta-antenneiksi valittiin Suomesta helposti saatavia antenneja. Ulkomailta olisi löytynyt suunta-antenneja vielä todella paljon lisää. Suunta-antennit ovat

markkinoilla eniten käytetty antennityyppi ja niitä löytyy helposti jokaiseen käyttötarkoitukseen. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen suunta-antennien ominaisuudet.

*Taulukko 1. Suunta-antennien ominaisuudet*

Valmistaja	Suomen teletuote	Smarteq	Completech	Completech	Finnsat	Carnant
Malli	ei tiedossa	ABY7-10	CA450Y++	CA450X++	VKN450	ASY12AC
Vahvistus (dBi)	12	9	10	10	10	12
Etu/taka suhde (dB)	29	15	15	15	ei tiedossa	15
Elementtejä (kpl)	8+4	7	6	6+6	5	5
Pituus (mm)	1040	720	1030	780	770	1405
Liitin	FME	FME	TNC	TNC	FME	FME
Nimi	Teletuote	Smarteq	CompletechY	CompletechX	Finnsat	Carant

### 4.3 Ympärisäteilevät antennit

Ympärisäteileviä antennia käytetään ajoneuvoissa ja muissa liikkuvissa soveluksissa. Ympärisäteileviä antennia käytetään myös sisäantenneina, koska niitä on helposti saatavilla. Ympärisäteilevien antennien kanssa pitää selvittää tarvitseeko antenni maatasoa vai ei. Jos maataso vaaditaan, kannattaa sitä myös käyttää, koska maataso tuo yleensä 3 desibeliä lisää vahvistusta heijastuksen vuoksi. Teho siis kaksinkertaistuu. Taulukossa 2 ja 3 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen suunta-antennien ominaisuudet.

*Taulukko 2. Ympärisäteilevien antennien ominaisuudet*

Valmistaja	Panorama antennas	Panorama antennas	Smarteq	Elcard
Malli	MD-S4	ACUB	RA 3126.01	EC450T
Vahvistus (dBi)	2	7	5.15	5,5
Korkeus (mm)	201	550	565	260
Kiinnitys	FME	FME	FME	N
Nimi	PanoramaAntPieni	PanoramaAntlso	Referenssi	Elcardlso

*Taulukko 3. Ympärisäteilevien antennien ominaisuudet*

Valmistaja	Elcard	Elcard	Panorama antennas	Procom
Malli	EB450T	EB450T	LPHD-S4	CXL 70-1/h
Vahvistus (dBi)	3	2	2	2
Korkeus (mm)	402	200	50	560
Kiinnitys	SMA	FME	TNC	N
Nimi	ElcardPatukka	ElcardPieni	IndagonLautanen	Veneantenni



#### 4.4 Sisäantennit

Sisäantenneiksi valittiin siroja ja sisälle sopivia antennoja. Mitatuissa sisäantenneissa oli suuria eroja rakenteellisesti. Sisäantenneja oli erittäin vaikea löytää muutamaa valmistajaa lukuun ottamatta. Tämän vuoksi monet verkon käyttäjät käyttävät myös sisällä ympärisäteilevää antennia. Taulukossa 4 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen suunta-antennien ominaisuudet.

*Taulukko 4. Sisäantennien ominaisuudet*

Valmistaja	Times Antenna	Ei tiedossa	Laird	Indagon	Indagon	Indagon
Malli	TA-XPQ450	ei tiedossa	TRA4503	ei tiedossa	ei tiedossa	ei tiedossa
Vahvistus(dBi)	3	ei tiedosa	3	ei tiedossa	2	2
Tyyppi	Portable	Tikku	Phantom	Linkkari	T-antenni	T-antenni
Liitin	TNC/SMA	SSMB	TNC	SSMB	SSMB	SSMB
Nimi	PieniTantenni	Tikku	Laird	Linkkari	Tantenni	TantenniV2

#### 4.5 Reportteriantennit

Reportteriantennit valittiin mukaan, koska tarvittiin hyvä antenni suorien radiolähetysten tekemiseen tapahtumapaikalla. Antennilta vaadittiin vähintään lievää suuntaavuutta ja helppoa asennettavuutta. Taulukossa 5 on esitetty tutkimuksessa käytettyjen suunta-antennien ominaisuudet.

*Taulukko 5. Reportteriantennien ominaisuudet*

Valmistaja	Procom	Laird	Completech	Times Antenna
Malli	R 70 -3dB	YS4503	CA450D	TA-XPQ450
Vahvistus (dBi)	5	8.25	4	6
Etu/taka suhde (dB)	12	17	6.5	15
Liitin	N	N	TNC	N
Nimi	Procom	Laird	Completech	Paneliantenni

### 5 Mittaukset

Työssä tehtiin kahdentyyppisiä mittauksia: kenttämittauksia, joissa antennoja testataan niiden todellisissa käyttöolosuhteissa, sekä antennien ominaisuuksien mittauksia laboratoriossa. Jos mittaustuloksessa huomattiin jotain epänormaalia, uusittiin mittaus välittömästi.

## 5.1 Mittausten suunnittelu

Erilaisille antennille on erilaiset käyttötarkoitukset ja tarkoituksena on testata antennit siinä tarkoituksessa, johon ne on tehty. Näiden ominaistestien lisäksi kaikki antennit testataan samalla tavalla hyvällä palvelualueella, että saadaan selville antennien väliset eroavaisuudet. Mittaukset tehdään FMDM-ohjelmalla (ks liite 6), jossa käytetään komentosarjaa joka automatisoi mittauksen. FMDM-ohjelma luo CSV-tiedoston, jota täytyy käsitellä mittaustulosten ymmärtämiseksi. Mittauksessa käytetty data luodaan Iperf-ohjelmalla. Iperf ohjelmalla pystyy generoimaan sekä TCP- (Transmission Control Protocol) että UDP- (User Datagram Protocol) liikennettä, mittauksen luonteesta johtuen käytössä oli UDP-liikenne. Komentosarjan avulla kaikki mittaukset ovat täsmälleen yhtä pitkiä ja ne on suoritettu samoilla parametreilla. (ks. liite 6)

Komentosarja tekee mittauksen seuraavasti:

- Asetetaan mittaustulosten tallennuspaikka
  - log set dir="C:/test/kaikkiantennit"
  - log set fileId="Sisaantenni\_Referenssi"
- Asetetaan tiedonsiirtoparametrit
  - traffic set cmd="miperf -s -u -i3 -l 1470"
- Odotetaan 1 sekunti
  - sleep 1000
- Käynnistetään tiedonsiirto
  - traffic start
- Odotetaan 1 sekunti
  - sleep 1000
- Aloitetaan mittaustulosten tallennus
  - log start
- Odotetaan 1 sekunti
  - sleep 1000
- Odotetaan 60 sekuntia
  - sleep 60000
- Lopetetaan mittausten tallennus
  - log stop
- Odotetaan 1 sekunti
  - sleep 1000
- Lopetetaan tiedonsiirto
  - traffic stop

### **5.1.1 Antenniryhmien testaussuunnitelmat**

#### **Suunta-antennit**

Suunta-antennit testataan palvelualueen reunalla, jotta saadaan selville suunta-antennien vahvistuksesta saatava hyöty. Antennit mitataan vuorotellen. Mittauksessa selvitetään, onko antennien polarisaatiolla merkitystä yhteyden laatuun.

#### **Ympärisäteilevät antennit**

Kaikki ympärisäteilevät antennit testataan liikkuvassa ajoneuvossa yhtä aikaa, jolloin testi vastaa antennien todellista käyttötarkoitusta. Testi suoritetaan pääkaupunkiseudulla, jossa on paljon tukiasemia. Työssä tehdään kolme mittausta huonetilassa; ikkunan vieressä, olohuoneen pöydällä ja keskellä taloa.

#### **Sisäantennit**

Antennit testataan kerrostalossa puisella työpöydällä lähellä tietokonetta. Antennit mitataan vuorotellen. Sisäantennien kanssa testataan 75 ohmin log-periodista TV-antennia, jonka taajuusalue kattaa 450–470 megahertsin alueen. Tällä mittauksella saadaan tietoon, voiko näitä TV-antenneja hyödyntää @450-verkossa. Työssä tehdään kolme mittausta huonetilassa: ikkunan vieressä, olohuoneen pöydällä ja keskellä taloa.

#### **Reportteriantennit**

Reportteriantennit asennetaan auton katolle kiinnitettyyn magneettijalkaan. Mittaus aloitetaan etsimällä paras suunta antennille, jonka jälkeen mittaus toistetaan muilla antenneilla. Reportteriantennien kenttämittaus tehdään samoissa olosuhteissa, kuin missä testin parhaiten menestyvää antennia on tarkoitus käyttää testin jälkeen. Reportteriantenni on tarkoitettu pääkaupunkiseudun reporttereille, jossa tarvitaan lievää suuntaavuutta, jotta toisista tukiasemista tuleva häiriösignaali saadaan minimoitua.

#### **Kaikkien antennien vertailumittaus**

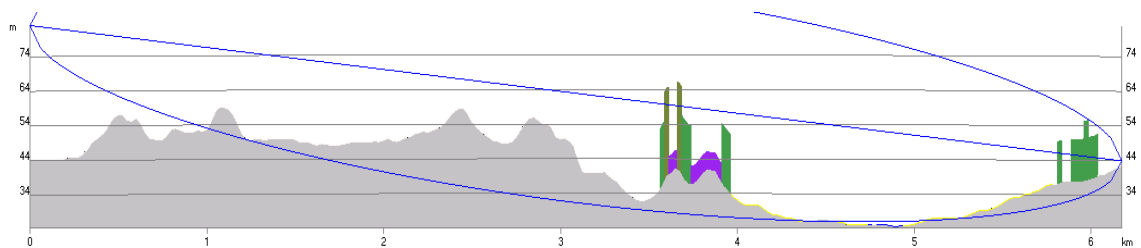
Antenneille tehdään paluuvaimennus ja spektrin mittaus Cell-Masterilla sekä kenttämittaus, jossa kaikki antennit testataan ulkona samoissa suhteellisen hyvissä olosuhteissa.

## 5.2 Mittausten toteutus

Testit aloitettiin antennien ominaisuuksien mittauksella. Kun ryhmän kaikki antennit olivat saapuneet, aloitettiin testit.

### Suunta-antennit

Antennit mitattiin 6,2 kilometrin etäisyydeltä tukiasemasta. Helsinki-Vantaan lentokentällä oleva tukiasema oli mittauksen kohteena. Tukiaseman antenni on 42 metrin korkeudessa ja mitattava antenni oli 9 metrin korkeudessa (ks. kuva 6). Kuvassa 5 on esitetty matka mittauspisteeltä tukiasemalle.



*Kuva 5. Profiilikuva mittauksesta*

Antennit kiinnitettiin trukin henkilönostokorin reunaan 20 senttimetriä pitkään asennustelineeseen. Kaikki antennit mitattiin täsmälleen samalla tavalla tulosten vertailun luotettavuuden takaamiseksi. Jokainen antenni suunnattiin ennen mitatusta parhaimman tuloksen saamiseksi. Suunta-antennien mittaustuloksiin vaikutti olennaisesti antennin onnistunut suuntaus. Suuntaus tehtiin tarkkailemalla signaalin laatua samalla kun antenna suunnattiin. Mittaustulokset eivät kuitenkaan vastaa radiokaiuttomassa tilassa tehtyjä mittauksia, koska ei voida varmasti sanoa antennin olleen juuri oikeaan suuntaan, kun mittaus suoritettiin. Mittaukset aloitettiin 21.11.2008 kello 13.00 ja mittausten tarkat kellonajat löytyvät mittaustulostusta.



*Kuva 6. Suunta-antennien mittaus*

### **Ympärisäteilevät antennit**

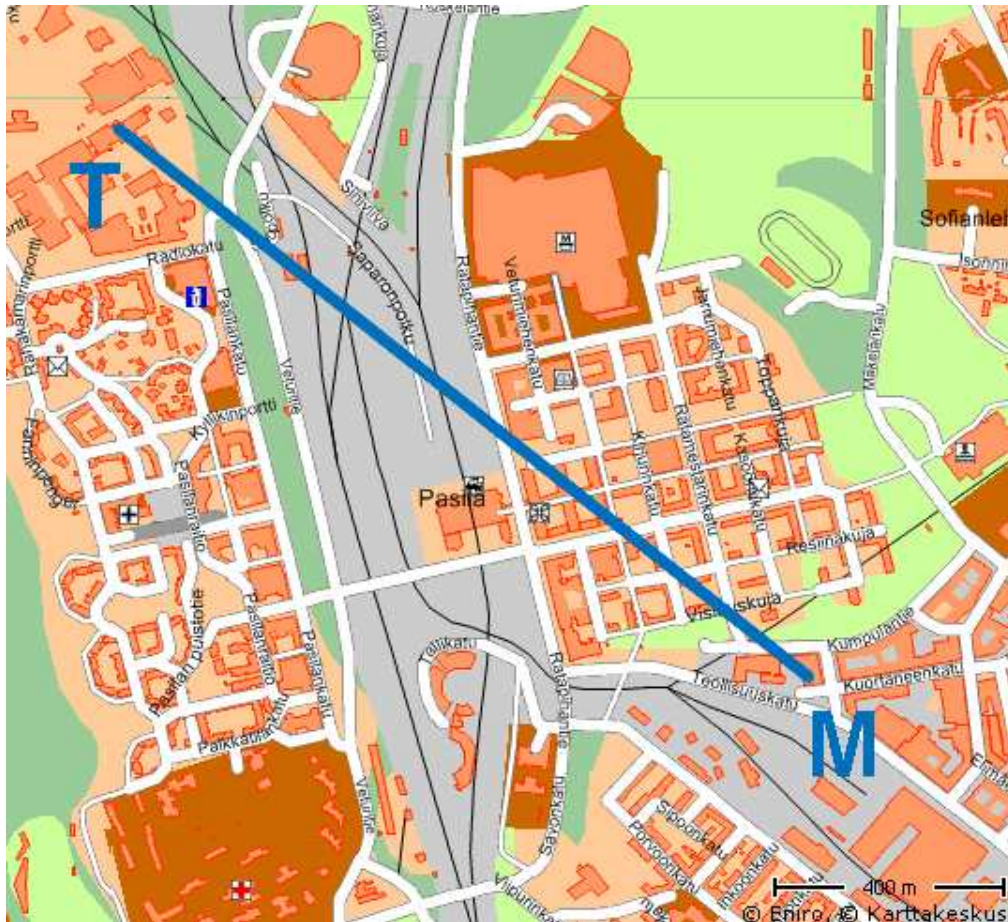
Mittaukset tehtiin Pasilan toimistossa josta yhteys otettiin Pasilan linkkitornissa olevaan tukiasemaan. Osa antenneista tarvitsi erillisen maatason. Samaa maatasoa käytettiin kaikkien sitä tarvitsevien kanssa antennityypistä riippumatta. Etäisyys tukiasemaan oli 1,4 kilometriä. Mittaukset aloitettiin 11.12.2008 kello 16.00 ja mittauksen tarkat kellonajat löytyvät mittausdatasta.

### **Sisäantennit**

Mittaukset tehtiin Pasilan toimistossa, josta yhteys otettiin Pasilan linkkitornissa olevaan tukiasemaan. Mittaukset suoritettiin ikkunan vieressä, josta ei ole suoraa näköyhteyttä linkkitorniin.

## Reportteriantennit

Reportteriantennit mitattiin Pasilan toimistorakennuksen sisäpihalla, jonne yhteys saadaan heijastusten kautta. Kaikille antennille etsittiin ennen mittauksen aloittamista parhaan yhteyden antava suunta. Mittaus tehtiin noin 7 metrin korkeudella. Kuvassa 7 M tarkoittaa mittauspistettä ja T tukiasemaa.

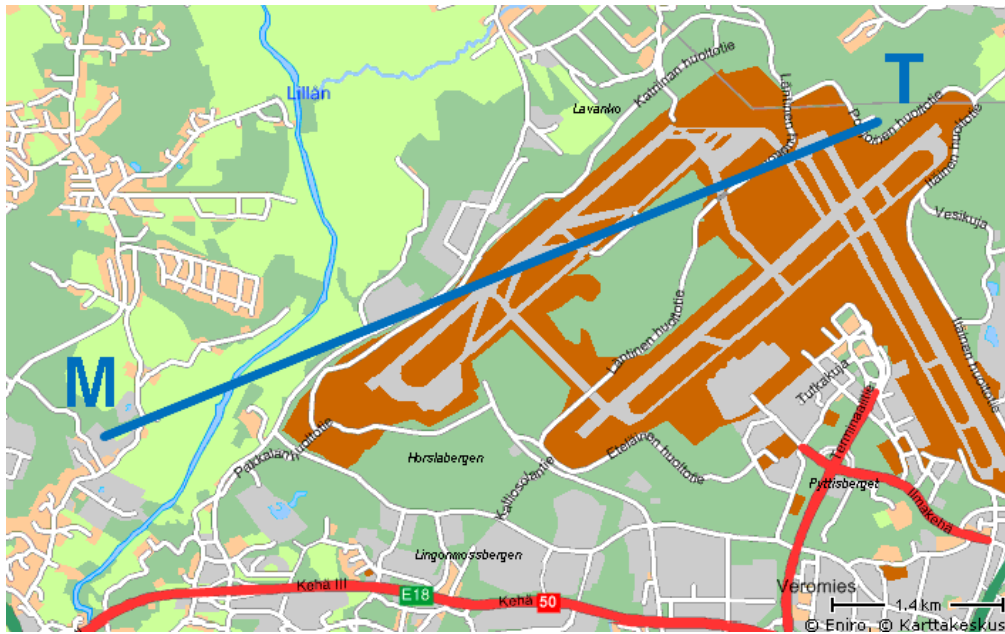


Kuva 7. Yhteys ympärisäteilevien-, sisä- ja reportteriantennien mittauksessa

## Kaikkien antennien vertailumittaus

Antennit mitattiin 6,1 kilometrin etäisyydeltä tukiasemasta. Helsinki-Vantaan lentokentällä oleva tukiasema oli mittauksen kohteena. Tukiaseman antenni oli 42 metrin korkeudessa ja mitattava antenni oli metrin korkeudessa maanpinnasta. Suunta-antennit suunnattiin kohti lentokentän tukiasemaa, muut antennit mitattiin ilman suuntausta. Cell-Masterilla mitattiin Return Loss eli paluuvaimennus. Tästä saatiin selville antennien sovitus oikealle taajuusalueelle. Kaikkia

antenneja ei voitu mitata Cell-Masterilla, koska sopivaa adapteria ei saatu ajoissa. Kuvassa 8 M tarkoittaa mittauspistettä ja T tarkoittaa tukiasemaa.



Kuva 8. Yhteys suunta-antennien ja kaikkien antennien vertailu mittauksessa

### 5.3 Mittaustulokset

Jokainen mittaus, paitsi Cell-Masterilla suoritettut mittaukset, luo tiedostojoukon, joka purettiin ymmärrettävään muotoon Excel-ohjelmassa luoduilla komentosarjalla. Näitä tuloksia vertailtiin keskenään eroavaisuuksien löytämiseksi. Cell-Master luo kuvan, jossa on piirretty antennin paluuvaimennus eri taajuuksilla (ks. kuva 10). Taulukot 6–10 on järjestetty RX0 pilot pwr -sarakkeen mukaan.

#### 5.3.1 Mittaustulosten analysointi

Mittaustulosten analysointi vei huomattavasti enemmän aikaa kuin oli resursoitu. FMDM-ohjelman luoman CSV-tiedoston (ks. liite 2) käsittelemiseen ymmärrettävään muotoon vei suurimman osan ajasta. Käsitteilyn automatisoinnin suunnittelu vei myös odotettua enemmän aikaa. Automatisoinnissa käytettiin mahdollisimman paljon komentosarjoja, jotta tuloksia olisi helppo verrata toisiinsa. Komentosarjojen käytännön puutteista johtuen jouduttiin käyttämään myös

käsityötä, mikä hidasti tiedostojen käsittelyä huomattavasti. Lopullisissa mittaustulostiedostoissa on paljon dataa, jota ei ole tarvittu eroavaisuuksien löytämiseksi. Tätä käyttämätöntä dataa (ks. liite 3) ei haluttu poistaa, jotta mittaustuloksia voidaan käyttää myös muuhun tarkoitukseen kuin antennien eroavaisuuksien löytämiseen.

Jokaisen ryhmän antenneista on tehty myös kaavio, jossa kaikki ryhmän antennien mittaustulokset ovat samassa kaaviossa, kuten liitteessä 4. Kaaviot on tehty seuraavista mittaustuloksista RX rate, TX rate, Pilot PWR, TX0 backoff ja RX0 SNR.

### **5.3.2 Mitatut suureet**

RX rate ja TX rate kertovat mittauksen tiedonsiirtonopeuden keskiarvon. Molempiin suuntiin lähetettiin 1470 kilobitin kokoisia UDP paketteja nopeudella 30000 kilobittiä sekunnissa. UDP-paketteja käytettiin, koska tiedon perille pääsillä ei ole vaikutusta mittaustulokseen. RX rate- ja TX rate-tuloksia katsottaessa huomataan, että kaikissa muissa mittauksissa kuin kolmessa ympärisäteilevien-antennien mittauksessa yhteys on toiminut moitteettomasti.

RX0 pilot pwr arvo kertoo, kuinka suurella teholla pilot signaali saapuu päätelaitteeseen. Tästä arvosta voidaan päätellä, kuinka hyvin antenni selviää signaalin vastaanotosta. Tämä arvo kertoo kaikkein selvimmin antennin suorituskyvystä.

TX0 backoff arvo kertoo tukiaseman pyynnön päätelaitteen lähetystehoksi. Tästä arvosta voidaan päätellä kuinka hyvin antenni selviää signaalin lähettämisestä. Jos tukiasemalta tuleva signaali saapuu heijastuksen kautta hyvälaatuisena, mutta tukiasemalla on ongelmia saada päätelaitteen signaalia, kannattaa valita antenni, jossa TX0 backoff on mahdollisimman suuri.

RX0 SNR-arvo kertoo, kuinka hyvälaatuista signaalia päätelaite ottaa vastaan. Tästä arvosta voidaan päätellä, kuinka häiriöttömästi antenni vastaanottaa signaalia. Jos antenni on laajakaistainen, tämä luku on huono, koska silloin päätelaitteelle tulee myös muita taajuuksia suurella teholla.



### 5.3.3 Antennit

#### Suunta-antennit

Suunta-antennien mittaustuloksissa ei suuria eroja ole. Suurin ero löytyy antennien rakenteesta. Toiset on suunniteltu kestävämmän myös rankkaa teollisuuskäyttöä, jonka takia myös niiden hintataso on reilusti muita korkeampi. Nämä teollisuuskäyttöön tarkoitettut antennit ovat lähes ikuisia. Kovasta kulutuksen kestävydestä ei kuitenkaan ole suurta hyötyä kotitalouskäytössä. Huonoon kenttään kannattaa valita antenni, jossa on suuri vahvistus. Yhteyden laatu vaikuttaa tiedonsiirtonopeuteen, joten aina kannattaa valita tarpeeksi suorituskykyinen antenni. Muita antennin valintaan vaikuttavia seikkoja, joita tässä työssä ei tarkastella, ovat antennin kiinnitys, johdon pituus, hinta sekä saatavuus. Taulukossa 6 on esitetty suunta-antennien mittaustulokset. Arvosana sarakkeisiin on laskettu mittaustulosten perusteella arvosana, jossa parhaimmalle antennille on korjauskertoimella saatu arvosanan kymmenen. Muille antennille saadaan samalla laskukaavalla ja korjauskertoimella yleensä huonompi arvosana (ks. taulukot 6–10).

*Taulukko 6. Suunta-antennien mittaustulokset*

Suunta-antennit	RX rate	TX rate	RX0 pilot pwr	TX0 backoff	RX0 SNR	Arvosana, tämä taulukko	Arvosana kaikista
Carant	30538.53	31154.13	-58.40	14.21	58.39	<b>10.0</b>	10.0
ComletechX	31288.49	31491.85	-57.62	13.04	51.46	<b>8.2</b>	8.2
Smarteq	30506.71	31850.26	-59.84	14.13	47.80	<b>8.0</b>	8.0
Teletuote	31138.82	30835.70	-60.46	13.24	50.54	<b>7.8</b>	7.8
Finnsat	32114.47	31193.80	-60.07	11.79	46.72	<b>6.5</b>	6.5
ComletechY	31129.82	31950.97	-56.32	10.97	45.24	<b>6.2</b>	6.2
Referenssi	31154.01	31004.70	-69.30	9.63	46.82	<b>4.6</b>	4.6
			-60.29	12.43	49.57	<b>7.2</b>	7.2

#### Ympärisäteilevät antennit

Ympärisäteilevissä antennissa suorituskykyisimmät ovat yhden aallonpituuden mittainen antenni, jos käyttötarkoitus sen sallii. 460 megahertsin aallonpituus vastaa noin 65 senttimetriä. Tällöin yhden aallonpituuden antennin pituus on 65 senttimetriä, joten puoliaallonpituuden antenni on puolet tästä korkeudesta. Taulukon 7 yhden aallonpituuden antennit ovat PanoramaAntlso, ElcardPutki,

Procom, ElcardIso, Referenssi ja ElcardPatukka. Taulukossa 7 on esitetty ympärisäteilevien antennien mittaustulokset.

*Taulukko 7. Ympärisäteilevien antennien mittaustulokset*

Ympärisäteilevät antennit	RX rate	TX rate	RX0 pilot pwr	TX0 backoff	RX0 SNR	Arvosana, tämä taulukko	Arvosana kaikista
PanoramaAntIso	31414.87	31116.80	-84.18	11.23	18.88	<b>10.0</b>	1.8
ElcardPutki	30109.64	31016.99	-84.95	10.56	17.99	<b>8.9</b>	1.6
PanoramaAntPieni	31201.28	31435.84	-85.56	10.91	16.98	<b>8.6</b>	1.5
Referenssi	31486.13	31208.92	-86.13	10.58	16.47	<b>8.0</b>	1.4
ElcardIso	30655.83	31495.58	-85.64	9.89	17.48	<b>8.0</b>	1.4
Veneantenni	31389.47	27131.24	-85.59	8.95	18.54	<b>7.7</b>	1.4
ElcardPieni	31448.59	14833.52	-89.71	9.85	12.64	<b>5.5</b>	1.0
ElcardPatukka	30398.72	13089.52	-92.24	7.16	11.23	<b>3.5</b>	0.6
IndagonLautanen	15773.45	2349.41	-101.29	7.07	7.81	<b>2.2</b>	0.4
			-88.37	9.58	15.34	<b>6.6</b>	1.2

## Sisäantennit

Sisäantenneja oli erittäin vaikea löytää markkinoilta, eikä nykyisistä antenneista oikein mikään sovi kunnolla kotikäyttöön. Jos yhteydessä ei ole ongelmia pääte-laitteen omalla antennilla, ei ole tarkoituksenmukaista hankkia sisäantennia. Pienelle ja sisustukseen sopivalle sisäantennille olisi kysyntää, mutta mikään yritys ei ole vielä lähtenyt tämänkaltaista antennia valmistamaan ja myymään. TantenniUuden ja Tantennin eri taajuusalueelle tehdyn sovituksen näkee hyvin RX0 SNR-arvosta, joka on uudella antennilla huomattavasti suurempi. Taulukossa 8 on esitetty sisäantennien mittaustulokset.

Taulukko 8. Sisäantennien mittaustulokset

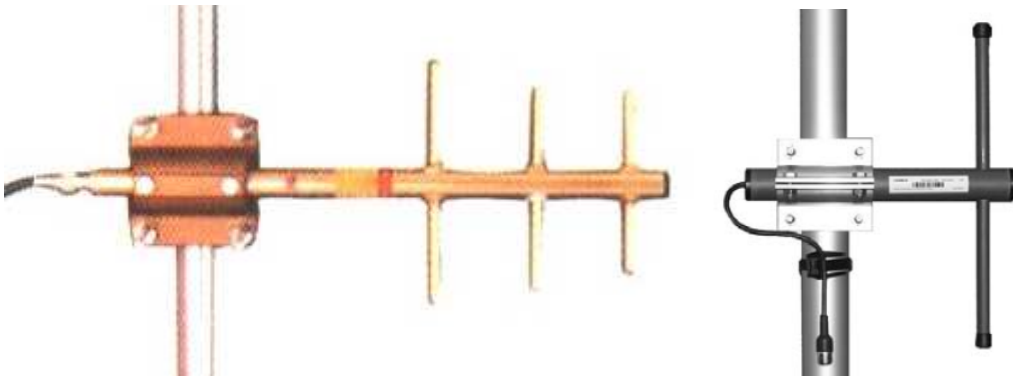
Sisäantennit	RX rate	TX rate	RX0 pilot pwr	TX0 backoff	RX0 SNR	Arvosana, tämä taulukko	Keskiarvo kaikista
Modeemi	36622.45	31344.51	-81.22	7.31	30.18	<b>10.0</b>	1.9
TantenniV2	35737.07	31699.26	-79.65	8.80	23.60	<b>9.6</b>	1.8
Laird	35798.39	31221.66	-81.13	7.99	24.94	<b>9.1</b>	1.7
Referenssi	35748.98	30184.14	-78.60	5.90	25.70	<b>7.1</b>	1.4
Tantenni	35260.63	30426.98	-80.53	6.54	18.95	<b>5.7</b>	1.1
PieniTantenni	35283.76	30669.26	-90.42	8.08	14.42	<b>4.8</b>	0.9
USBModeemi	36466.14	31028.37	-84.62	5.06	21.08	<b>4.7</b>	0.9
Pckortti	31966.48	30617.75	-88.80	4.33	21.67	<b>3.9</b>	0.7
Linkkari	36308.78	31432.50	-89.04	4.55	20.59	<b>3.9</b>	0.7
PckorttiOmaAntenni	36002.67	31436.29	-86.38	4.13	19.31	<b>3.4</b>	0.7
Tikku	36187.88	24469.62	-85.57	5.09	13.77	<b>3.0</b>	0.6
			-84.18	6.16	21.29	<b>5.8</b>	1.1

### Reportteriantennit

Tämän tutkimuksen mukaan paras reportteriantenni on Lairdin valmistama Y4503 (ks. kuva 9). Toiseksi paras antenni on Completech CA450D (ks. kuva 9). Nämä molemmat kestävät kovaa käyttöä ja räsitusta, jotka ovat tärkeimmät ominaisuudet RF-ominaisuuksien lisäksi. Taulukossa 9 on esitetty reportteriantennien mittaustulokset.

Taulukko 9. Reportteriantennien mittaustulokset

Reportteriantennit	RX rate	TX rate	RX0 pilot pwr	TX0 backoff	RX0 SNR	Arvosana, tämä taulukko	Keskiarvo kaikista
Laird	35816.80	31200.35	-65.86	10.66	37.79	<b>10.0</b>	4.3
Procom	36061.30	31223.39	-67.29	10.13	29.19	<b>7.2</b>	3.1
Completech	32240.47	30976.13	-67.51	9.80	29.93	<b>7.1</b>	3.1
Paneliantenni	36759.56	31694.98	-67.36	11.22	22.11	<b>6.0</b>	2.6
Referenssi	35858.93	31785.57	-72.71	9.98	20.69	<b>4.6</b>	2.0
			-68.15	10.36	27.94	<b>7.0</b>	3.0



*Kuva 9. Laird Y4503 ja Completech CA450D /17; 18./*

### **Kaikkien antennien vertailumittaus**

Kaikki antennit mitattiin vielä vertailun vuoksi samassa paikassa, jossa suunta-antennit oli aikaisemmin mitattu. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 10. Taulukossa 10 on suunta-antenneja lukuun ottamatta vertailukelpoisia mittaustuloksia.

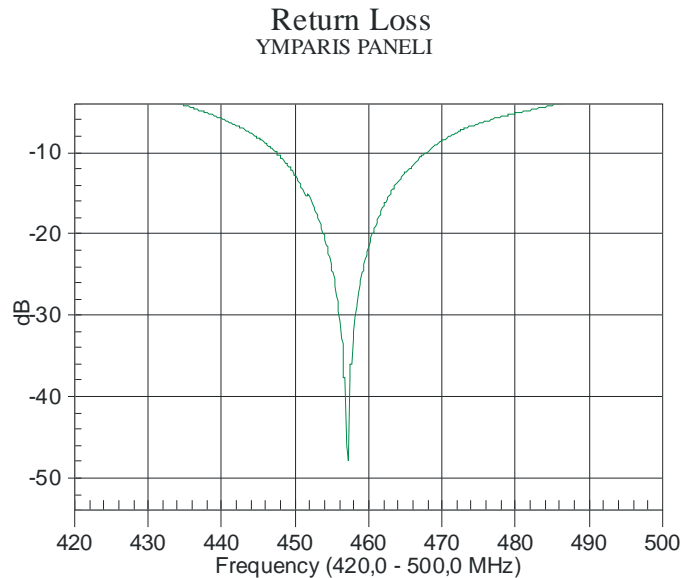
Taulukko 10. Kaikkien antennien vertailumittaustulokset

Antenni	RX rate	TX rate	RX0 pilot pwr	TX0 backoff	RX0 SNR	Arvosana, tämä taulukko	Keskiarvo kaikista
Ymp_risateileva_Patukka	31720.45	30527.72	-75.80	15.00	41.75	10.0	5.8
Reportteri_Procom	36339.50	30937.61	-71.70	15.15	39.06	10.0	5.8
Suuntaantenni_Finnsat	37155.26	30549.70	-74.08	14.64	41.72	9.9	5.8
Suuntaantenni_Elcard	36892.93	31267.98	-77.01	16.44	36.20	9.3	5.4
Suuntaantenni_ComletechY	36992.54	31104.81	-74.83	13.12	41.92	8.9	5.2
Reportteri_Paneli	32156.73	31800.40	-73.15	13.15	36.51	7.9	4.6
Ymp_risateileva_Veneantenni	37375.62	30674.85	-74.83	11.59	38.08	7.1	4.2
Reportteri_Completech	36194.36	31274.72	-76.32	12.36	34.30	6.7	3.9
Reportteri_Laird	36406.52	31550.10	-83.94	13.41	33.76	6.5	3.8
Ymp_risateileva_ElcardPutki	35894.62	31617.84	-78.19	12.23	34.34	6.5	3.8
Suuntaantenni_Teletuote	31417.09	31712.71	-80.75	10.53	34.66	5.5	3.2
Referenssi	37023.96	31340.16	-80.74	11.31	30.17	5.1	3.0
Ymp_risateileva_IndagonLautanen	38171.77	31501.23	-86.81	12.48	28.74	5.0	2.9
Suuntaantenni_ComletechX	31946.03	29347.26	-77.31	10.84	27.69	4.7	2.7
Ymp_risateileva_Smarteq_Pieni	37012.61	32047.19	-81.39	9.83	32.10	4.7	2.7
Sisaantenni_Modeemi	32043.66	32807.66	-76.22	12.65	23.20	4.6	2.7
Ymp_risateileva_Elcard_Pieni	36536.75	31845.51	-84.32	10.19	31.09	4.5	2.6
Ymp_risateileva_Panorama_Iso	37361.20	31963.50	-79.98	10.19	29.46	4.5	2.6
Suuntaantenni_Smarteq	35478.86	30587.18	-84.00	11.53	25.85	4.3	2.5
Ymp_risateileva_Panorama_Pieni	36498.62	31035.22	-83.00	10.03	29.34	4.3	2.5
Sisaantennit_PCkorttiOmaTikku	35889.54	31484.92	-82.25	9.35	26.69	3.7	2.1
Suuntaantenni_Carant	37545.85	31548.73	-83.95	9.87	22.33	3.2	1.9
Sisaantenni_USB_Modeemi	31754.03	31126.04	-79.08	8.16	25.13	3.1	1.8
Sisaantenni_Laird_maatasolla	36031.39	30436.41	-82.24	8.29	23.65	2.9	1.7
Ymp_risateileva_Sonera	32092.83	31727.97	-85.81	6.75	27.34	2.6	1.5
Sisaantenni_Laird	37321.46	30880.13	-84.29	7.28	23.23	2.4	1.4
Sisaantennit_PCkortti	36334.76	30566.97	-86.70	7.33	23.56	2.4	1.4
Sisaantennit_Tantenni_Pieni	36565.30	30657.76	-94.04	6.93	25.94	2.3	1.3
Sisaantennit_Tantenni	37225.38	30458.88	-82.90	7.29	20.96	2.2	1.3
Sisaantennit_Linkkari	36421.39	25292.96	-82.46	8.84	16.32	2.1	1.2
Sisaantennit_TantenniV2	36733.02	31626.61	-84.13	6.18	21.84	1.9	1.1
			-80.72	10.74	29.90	4.8	2.8

### Cell-Master

Cell-Master-mittalaite luo graafisen käyrän, jossa on piirrettynä paluuvaimennus 420–500 megahertsin taajuusalueella. Cell-Masterilla tehdyt mittaukset tehtiin samassa paikassa keskellä kerrostaloa, tällä pyrittiin minimoimaan häiriöt. Kaikki suunnattavat antennit osoittivat samaan suuntaan. Kuvassa 10 on esimerkki

hyvästä antennista, jossa paluuvaimennus on lähes koko 450–470 megahertsin taajuusalueella vähintään -10 desibeliä. Liitteessä 5 on esitetty kaikkien tutkittujen antennien paluuvaimennus käyrät.



*Kuva 10. Return Loss Paneliantenni*

## 6 Johtopäätökset

Mittaustulosten keskiarvojen lisäksi tuloksista tarkasteltiin tilastollisesti minimi, maksimi ja mediaani arvoja. Näistä tuloksista ei kuitenkaan löytynyt tuloksiin vaikuttavaa tietoa. Mittaustulostaulukoista (taulukot 6–9) on jätetty tästä syystä kyseiset arvot pois.

Tiedonsiirtonopeus sekä tulo- (rx\_rate\_arq) että meno- (tx\_rate\_arq) suuntaan ei kerro muusta, kuin yhteyden toimimisesta. Jos tiedonsiirtonopeus olisi kasvatettu äärimmilleen, voitaisiin saada lisätietoa antennien toimivuudesta. Mittausta ei kuitenkaan voida tehdä luotettavasti, koska tukiaseman kuormitus saattaa vaihdella mittausten välillä vaikuttaen mittaustuloksiin.

Mittauksia olisi voinut tehdä erilaisissa olosuhteissa paljon enemmänkin, mutta lopputuloksiin ne olisivat tuskin juurikaan vaikuttaneet. Radiokaiuttomassa tilas-

sa tehdyt mittaukset olisivat voineet antaa paljon uutta tietoa, mutta tähän ei valitettavasti ollut mahdollisuutta. Radiokaiuttomasta huoneesta olisi ollut hyötyä erityisesti suunta-antennien mittauksissa, jotta mittaustulokset olisivat olleet täysin vertailukelpoiset.

Suunta-antennien mittaustuloksissa ei suuria eroja ole. Suurin ero löytyi antennien rakenteesta. Toiset on suunniteltu kestävänsä myös rankkaa teollisuuskäyttöä. Tämän takia myös niiden hintataso on reilusti muita korkeampi. Nämä teollisuuskäyttöön tarkoitettut antennit ovat lähes ikuisia. Kovasta kulutuksen kestävydestä ei kuitenkaan ole suurta hyötyä kotitalouskäytössä. Huonoon sähkömagneettiseen kenttään kannattaa valita antenni, jolla on suuri vahvistus. Yhteyden laatu vaikuttaa tiedonsiirtonopeuteen, joten aina kannattaa valita tarpeeksi hyvä antenni.

Ympärisäteilevissä antenneissa kannattaa valita yhden aallonpituuden mittainen antenni, jos käyttötarkoitus sen sallii. 460 megahertsin aallonpituus vastaa 65 senttimetriä. Tällöin yhden aallonpituuden antenni on 65 senttimetrin korkuinen ja puoliaallonpituuden antenni on puolet tästä korkeudesta.

Sisä-antenneja on vain vähän markkinoilla, eikä nykyisistä antenneista oikein mikään sovi kunnolla kotikäyttöön. Jos yhteydessä ei ole ongelmia päätelaitteen omalla antennilla, ei ole mitään syytä hankkia sisäantennia. Pienelle ja teollisesti hyvin muotoilulle sisäantennille olisi kysyntää, mutta mikään yritys ei ole vielä lähtenyt tämänkaltaista antennia valmistamaan ja myymään. TantenniUuden ja Tantennin eri taajuusalueelle tehdyn sovituksen näkee hyvin RX0 SNR arvosta joka on uudella antennilla huomattavasti suurempi.

Tässä tutkimuksessa todettiin kokonaisuudessaan toimivimman reportteriantennin olevan Lairdin valmistama Y4503 ja toiseksi toimivimman olevan Completechin CA450D. Nämä molemmat kestävät kovaa käyttöä ja rasitusta, jotka ovat tärkeimmät ominaisuudet RF-ominaisuuksien lisäksi. Taulukossa 8 on esitelty reportteriantennien mittaustulokset.

## Lähteet

/1/ Digita lyhyesti. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<[http://digita.fi/digita\\_dokumentti.asp?path=1840;2249;3795](http://digita.fi/digita_dokumentti.asp?path=1840;2249;3795)> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/2/ Yhtiö. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<[http://digita.fi/digita\\_esittely.asp?path=1840;2249](http://digita.fi/digita_esittely.asp?path=1840;2249)> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/3/ @450-käyttökohteet. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<<http://www.450laajakaista.fi/9024/9072>> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/4/ Yle myy Digitasta 49 % TDF:lle. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<[http://www.digita.fi/digita\\_dokumentti.asp?path=1840;3793;1973;2283](http://www.digita.fi/digita_dokumentti.asp?path=1840;3793;1973;2283)> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/5/ Teknologia. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<<http://www.450laajakaista.fi/9024/9057>> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/6/ Missä toimii. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<<http://www.450laajakaista.fi/Missatoimii>> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/7/ @450-verkon tekniikka. Digita Oy. 2008 [ppt-esitys, luettu 26.9.2008] Digitan sisäinen julkaisu.

/8/ Granlund, Kai 2007: Tietoliikenne. Jyväskylä: Docendo.

/9/ Siirtyvä tietoliikenne 5. (WWW-dokumentti.) Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento05.pdf>> Laadittu 16.2.2007. Luettu 26.9.2008.

/10/ Langaton laajakaista. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.

<<http://digita.fi/binary.asp?path=10586;10587&field=FileAttachment>> Laadittu 2008. Luettu 14.11.2008.



/11/ Radio router. (WWW-dokumentti.) Qualcomm Flarion Technologies.  
<[http://www.qualcomm.com/products\\_services/networks/flash-ofdm/products/radorouter.html](http://www.qualcomm.com/products_services/networks/flash-ofdm/products/radorouter.html)> Laadittu 2008. Luettu 26.11.2008.

/12/ Laitteet. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.  
<<http://www.450laajakaista.fi/9021/9638/9637>> Laadittu 2008. Luettu 26.9.2008.

/13/ Laitteet. (WWW-dokumentti.) Digita Oy.  
<<http://www.450laajakaista.fi/9021/9638/9636>> Laadittu 2008. Luettu 26.11.2008.

/14/ Siirtyvä tietoliikenne 1. (WWW-dokumentti.) Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento01.pdf>> Laadittu 16.1.2007. Luettu 26.9.2008.

/15/ EMC-sunnittelu ja testaus. (WWW-dokumentti.) Oulun yliopisto.  
<<http://www.ee.oulu.fi/~jari/EMCST/LH2-lisamateriaali.pdf>> Laadittu 26.9.2008. Luettu 5.9.2008.

/16/ Siirtyvä tietoliikenne 3. (WWW-dokumentti.) Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<http://www.it.lut.fi/kurssit/06-07/Ti5312600/luentokalvot/luento03.pdf>> Laadittu 2.2.2007. Luettu 2.10.2009.

/17/ Directional Yagis Antennas. (WWW-dokumentti.) Laird.  
<<http://lairdtech.thomasnet.com/viewitems/yagis-antennas/directional-yagis-antennas?&plpver=10&forward=1>> Laadittu 2009. Luettu 17.10.2009.

/18/ Communications antennas. (WWW-dokumentti.) Competech.  
<<http://www.completech.fi/products/CAD.pdf>> Laadittu 2009. Luettu 17.10.2009

## Liite 1: Tilatut antennit

	Merkki	Malli	Osoite
<b>Suunta-antennit</b>			
450 ANTENNI	Suomen Teletuote	Yagi	<a href="http://w1.dy.fi/files/@450%20antenni.pdf">http://w1.dy.fi/files/@450%20antenni.pdf</a>
Broadband high-gain directional antenna	Smarteq	ABY7-10	<a href="http://www.smarteq.com/download/18_7f35a2f11c3ec4f1b180...">http://www.smarteq.com/download/18_7f35a2f11c3ec4f1b180...</a>
Yagi antenna for Flash OFDM networks	Elcard (suomi)	EY450T	<a href="http://www.wiesqu.eu/catalog/product_info.php?cPath=28_918">http://www.wiesqu.eu/catalog/product_info.php?cPath=28_918</a>
Directional yagi	Completech	CA450Y++	<a href="http://www.completech.fi/products/CA450Y++pdf">http://www.completech.fi/products/CA450Y++pdf</a>
Cross-polarized yagi	Completech	CA450X++	<a href="http://www.completech.fi/products/CA450X++pdf">http://www.completech.fi/products/CA450X++pdf</a>
VKN450 finnsat	Finnsat	VKN450	<a href="http://www.finnsat.fi/450_antennit.html">http://www.finnsat.fi/450_antennit.html</a>
(Soneran toimittama antenni)	Indagon	Yagi	<a href="http://www.verkkokauppa.com/popups/prodinfo.php?id=2088">http://www.verkkokauppa.com/popups/prodinfo.php?id=2088</a>
<b>Ympärisäteilevät antennit</b>			
UHF Magnetic mount antennas	Panorama Antennas	MD-S4	<a href="http://www.panorama.co.uk/uk/products/pmr_magnetic.html">http://www.panorama.co.uk/uk/products/pmr_magnetic.html</a>
Kenttämittauksissa käytetty antenni	Smarteq	RA 3126 01	<a href="http://www.smarteq.com/productarchive/industrialproducts/ra...">http://www.smarteq.com/productarchive/industrialproducts/ra...</a>
Magnet mount antenna for Flash OFDM networks	Elcard (suomi)	EA450T	<a href="http://www.wiesqu.eu/catalog/product_info.php?cPath=28_918">http://www.wiesqu.eu/catalog/product_info.php?cPath=28_918</a>
Magnet mount antenna for Flash OFDM networks	Elcard (suomi)	EB450T	<a href="http://www.wiesqu.eu/catalog/product_info.php?cPath=28_918">http://www.wiesqu.eu/catalog/product_info.php?cPath=28_918</a>
(Soneran toimittama antenni)	Indagon		
Unity Gain Marine and Base Station UHF Antenna (elfa)	Procom	CXL 70-1/h	<a href="http://www.proflant.net/uk/marine/14030800">http://www.proflant.net/uk/marine/14030800</a>
<b>Sisäantennit</b>			
450MHz 3dBi Portable Antenna (TA-XPQ450-3dBi-1)	Times Antenna	TA-XPQ450-3dBi-1	<a href="http://www.timesantenna.com/450MHz-3dBi-Portable-Antenn">http://www.timesantenna.com/450MHz-3dBi-Portable-Antenn</a>
450MHz 6dBi Indoor Hanging Antenna (TA-BGD450-6dBi)	Times Antenna	TA-BGD450-6dBi	<a href="http://www.timesantenna.com/450MHz-6dBi-Indoor-Hanging">http://www.timesantenna.com/450MHz-6dBi-Indoor-Hanging</a>
P25 clip mount antenna	Panorama Antennas	CD460	<a href="http://www.panorama.co.uk/uk/products/P25_460_clip.html">http://www.panorama.co.uk/uk/products/P25_460_clip.html</a>
Phantom® Whipless, myös musta	Antenex	TRA4503	<a href="http://www.antenex.com/c_search.asp?txtFunction=browse2">http://www.antenex.com/c_search.asp?txtFunction=browse2</a>
Indagon linkkiantenni	Indagon	Linkkari	<a href="http://www.verkkokauppa.com/popups/prodinfo.php?id=5752">http://www.verkkokauppa.com/popups/prodinfo.php?id=5752</a>
Indagon @450 lisäantenni PC-kortille.	Indagon	T-antenni näyttöön	
<b>Reporteriantennit</b>			
Yagi 3 Gain for the 450 MHz Band	Procom	R 70 -3dB	<a href="http://www.proflant.net/pco_pdf.nsf/VwDocID/9057E025...">http://www.proflant.net/pco_pdf.nsf/VwDocID/9057E025...</a>
SILVER SERIES UHF MODELS	Antenex	YS4503	<a href="http://www.antenex.com/c_search.asp?txtFunction=browse2">http://www.antenex.com/c_search.asp?txtFunction=browse2</a>
Offset pattern dipole	Completech	CA450D	<a href="http://www.completech.fi/products/CAD_pdf">http://www.completech.fi/products/CAD_pdf</a>
Panel Directional Antenna (TS-OA450PB-120-5)	Telestone	TS-OA450PB-120-5	<a href="http://www.telestone.com/english/product.asp?id=82">http://www.telestone.com/english/product.asp?id=82</a>
<b>Muuta</b>			
Magneettijalka autoon suuntaantennille		Magnetic Tripod	<a href="http://www.norelem.de/cms/wm?catId=2056&amp;CmiProdId=51a">http://www.norelem.de/cms/wm?catId=2056&amp;CmiProdId=51a</a>
Smarteq antennijalka	Smarteq	MaxiMag	<a href="http://www.smarteq.com/productarchive/industrialproducts/mr...">http://www.smarteq.com/productarchive/industrialproducts/mr...</a>
Cross-polarized yagille tehojakaja	Completech	CS450	<a href="http://www.completech.fi/products/CS.pdf">http://www.completech.fi/products/CS.pdf</a>
Antenex whiplessille antennijalka	Antenex	GM8T Miniature Magnetic Mount	<a href="http://www.antenex.com/c_search.asp?txtFunction=browse1">http://www.antenex.com/c_search.asp?txtFunction=browse1</a>

## Liite 2: CSV-tiedosto

```

<?xml version="1.0" ?>
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="fmdm_transition_log.xsl"?>
<fmdm-log>
<comments><![CDATA[
Insityb
]]></comments>

<fmdminfo><![CDATA[
FMDM Version 3.3.1
@Built: Jun 26 2008 10:44:12.
Running executable 'C:/Program Files/Flarion Mobile Diagnostic Monitor/FMDM/fmdm.exe'.
Running Model file 'C:/Program Files/Flarion Mobile Diagnostic Monitor/FMDM/fmdmConfig.xml':
@created 'pe 19. sys 11:14:43 2008'
@last_modified 'to 26. kesä 09:48:56 2008'
Current license expires su 24. kesä 14:48:50 2018

CLI Configuration file: C:/Program Files/Flarion Mobile Diagnostic Monitor/FMDM/cliConfig/cliConfig_FT-2000_release_02_06_11-dsp_02_11_36.xml
CLI Configuration file version: 02.11.36
DSP Version: 02.11.36
Version Type: EXT
]]></fmdminfo>
<host-time value="2008-11-21T11:53:51.453Z" />
<system-status><![CDATA[
*** Flarion Flash OFDM MS 1.27125 MHz System Version 1.0 ***
*** System Statistics ***

ASIC(LLC RXTX) Version.....0.0|0.0
DSP Firmware Version.....2.11.36
CLI Config Version.....02.11.36
LDPC Version.....3
DSP Clock/EMIF (MHz).....129.7/129.7
RF_IF Mode.....RF
DSP Product Mode.....PRODUCTION
DSP Build.....CUSTOMER
RF Channel # / Carrier.....188 / 1
RX / TX Freq (KHz).....465946.25 / 455946.25
RX Up/Down Convert.....0
TX I/Q Swap Select.....0
TX Up/Down Convert.....0
DSP Verbose Level.....5]]></system-status>
<sku-listings><![CDATA[
*** Flarion Flash OFDM MS 1.27125 MHz System Version 1.0 ***
*** Enumerated Listing of SKU Entries ***

Network Operator: Siemens
Deployed Location: Finland
Product Form Factor: PC Card
Digital ASIC version: Magnemite
RF ASIC version: Rhydon Rev5
Band of Operation: 450MHz
Search Algorithm: PRL 3 Channel
SKU flags for RF (legacy): 15744
Shipped Antenna type: Cabled Whip
BOM version: A]]></sku-listing>
<mpiconfig><![CDATA[
*** Flarion Flash OFDM MS 1.27125 MHz System Version 1.0 ***
*** MPiconfig ***

mp_state: registered
MIP registered? 0x6000
WTP: 83.146.154.77
ROUTERIP: 172.16.8.69: 0]]></mpiconfig>
<euI64><![CDATA[00.07.35.f.f.a2.45.f1]]></euI64>
<cliConfigfilename><![CDATA[C:/Program Files/Flarion Mobile Diagnostic Monitor/FMDM/cliConfig/cliConfig_FT-2000_release_02_06_11-dsp_02_11_36.xml]]></cliConfigfilename>
<cliConfigversion><![CDATA[02.11.36]]></cliConfigversion>

<filename>C:/antennimittaukset/suuntaantennit2/collected_Referenssi2_000735ffffa245f1_20081121_115351.csv</filename>
<!-- LEGEND
hostDate,hostTime,gpsTime,gpsLat,gpsLong,gpsAlt,networkDate,networkTime,dsp_version,rx_pwr,mgsm_state,mip_state,rx0_state,rx1_state,tx_pwr,rx_rate,rx_tx_rate,rx_active_rx,active_tx,rx_frame_counter,rx_frame
-->

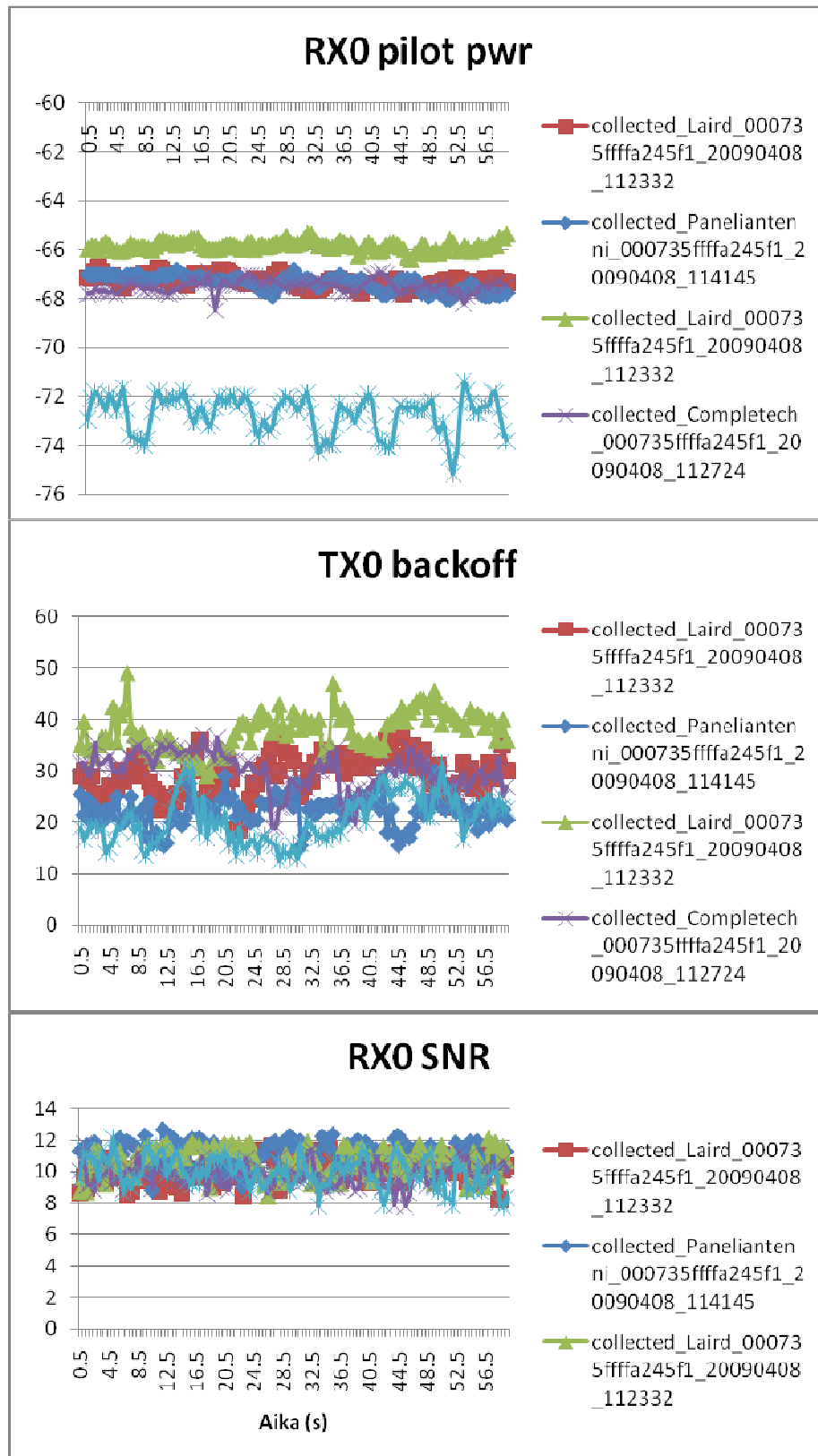
<log-data>
2008-11-21-11:53:51.984,,,,,2008-11-21-11:53:54.982,02.11.36,-60.96875,active1,registered,On,Ready,4.078125,20376.15151,0.0,505478,45,193177,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.375,8.65625,36.5,55,8.90625,5,71
2008-11-21-11:53:52.468,,,,,2008-11-21-11:53:55.476,02.11.36,-60.8125,active1,registered,On,Ready,2.078125,18822,47242,0.0,505612,45,193240,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.375,8.09375,35.5,55,8.6875,5,74,8.0
2008-11-21-11:53:52.984,,,,,2008-11-21-11:53:55.989,02.11.36,-61.71875,active1,registered,On,Ready,5.2265625,36084,27057,0.0,505675,45,193303,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.3125,8.25,37.5,55,8.59375,5,68
2008-11-21-11:53:53.468,,,,,2008-11-21-11:53:56.475,02.11.36,-60.46875,active1,registered,On,Ready,13.8140625,31160,22851,0.0,505738,45,193366,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.34375,8.40625,40.56,8.5,5,6
2008-11-21-11:53:53.984,,,,,2008-11-21-11:53:56.989,02.11.36,-65.5625,active1,registered,On,Ready,6.4140625,19533,47714,0.0,505811,45,193492,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.40625,7.5625,35.5,6,8.28125,5,63
2008-11-21-11:53:54.468,,,,,2008-11-21-11:53:57.475,02.11.36,-65.84375,active1,registered,On,Ready,10.0078125,48393,36189,0.0,505943,45,193555,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.40625,8.96875,30.56,8.46875,1
2008-11-21-11:53:54.984,,,,,2008-11-21-11:53:57.989,02.11.36,-65.90625,active1,registered,On,Ready,-3.75,33480,25090,0.0,506006,45,193618,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.375,9.40625,34.5,55,8.875,5,71,0.000
2008-11-21-11:53:55.468,,,,,2008-11-21-11:53:58.476,02.11.36,-66,active1,registered,On,Ready,-14.5390625,26595,19941,0.0,506069,45,193681,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.28125,8.25,41.55,8.75,5,72,0.000579
2008-11-21-11:53:55.984,,,,,2008-11-21-11:53:58.989,02.11.36,-64.9375,active1,registered,On,Ready,-4.390625,20486,44573,0.0,506189,51,193807,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.28125,10.65625,43.5,55,9.15625,1
2008-11-21-11:53:56.468,,,,,2008-11-21-11:53:59.476,02.11.36,-60.84375,active1,registered,On,Ready,10.3671875,46843,35444,0.0,506274,45,193870,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,7.9375,45.5,55,9.375,5,6
2008-11-21-11:53:56.984,,,,,2008-11-21-11:53:59.990,02.11.36,-61.375,active1,registered,On,Ready,-15.921875,26986,20295,0.0,506337,45,193933,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,8.45,55,9.09375,5,70,8.000
2008-11-21-11:53:57.468,,,,,2008-11-21-11:54:00.476,02.11.36,-65.84375,active1,registered,On,Ready,2.0625,23242,16028,0.0,506400,45,194059,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.25,10.21875,46.5,56,9.34375,5,74,1
2008-11-21-11:53:57.984,,,,,2008-11-21-11:54:00.989,02.11.36,-60.6875,active1,registered,On,Ready,-7.0703125,47815,35588,0.0,506526,45,194122,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.15625,11.9375,47.56,10.25,5,78
2008-11-21-11:53:58.468,,,,,2008-11-21-11:54:01.477,02.11.36,-62.15625,active1,registered,On,Ready,-11.953125,38450,27095,0.0,506589,45,194185,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,11.15625,46.5,55,10.5,5,7
2008-11-21-11:53:58.984,,,,,2008-11-21-11:54:01.989,02.11.36,-60,active1,registered,On,Ready,17.796875,25493,18810,0.0,506652,45,194248,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.15625,10.96875,46.55,10.8125,5,76,2
2008-11-21-11:53:59.468,,,,,2008-11-21-11:54:02.475,02.11.36,-60.94375,active1,registered,On,Ready,9.0390625,20037,48111,0.0,506721,45,194374,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.15625,12.03125,47.5,55,11.5,6
2008-11-21-11:53:59.984,,,,,2008-11-21-11:54:02.989,02.11.36,-62.65625,active1,registered,On,Ready,-15.0546875,45006,33429,0.0,506862,45,194437,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.21875,11.75,47.5,56,10.75,5,6
2008-11-21-11:54:00.468,,,,,2008-11-21-11:54:03.476,02.11.36,-66.28125,active1,registered,On,Ready,-24.6796875,35547,26583,0.0,506925,45,194500,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.25,9.03125,51.5,56,10.875,5,6
2008-11-21-11:54:00.968,,,,,2008-11-21-11:54:03.978,02.11.36,-62.84375,active1,registered,On,Ready,27.484375,27085,20295,0.0,506993,45,194563,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.21875,10.25,50.5,56,10.78125,1
2008-11-21-11:54:01.468,,,,,2008-11-21-11:54:04.476,02.11.36,-60.1875,active1,registered,On,Ready,-13.984375,17364,45927,0.0,507117,53,194689,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,9.75,50.5,56,10.5,6,9,10
2008-11-21-11:54:01.984,,,,,2008-11-21-11:54:04.990,02.11.36,-60.375,active1,registered,On,Ready,-22.4453125,47768,35765,0.0,507188,45,194752,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,10.375,51.5,55,10.4375,6,7
2008-11-21-11:54:02.468,,,,,2008-11-21-11:54:05.476,02.11.36,-66.90625,active1,registered,On,Ready,-26.3203125,27151,20352,0.0,507251,45,194815,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,11.375,51.55,10.65625,6
2008-11-21-11:54:02.984,,,,,2008-11-21-11:54:05.989,02.11.36,-60.8125,active1,registered,On,Ready,-14.0546875,25093,18816,0.0,507318,45,194941,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.0625,1.40625,52.55,10.0625,5,1
2008-11-21-11:54:03.468,,,,,2008-11-21-11:54:06.476,02.11.36,-67.15625,active1,registered,On,Ready,-15.5546875,48112,36084,0.0,507449,45,195004,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.03125,9.71875,49.56,9.3125,5,8
2008-11-21-11:54:03.984,,,,,2008-11-21-11:54:06.989,02.11.36,-64.1875,active1,registered,On,Ready,-26.8515625,44573,30074,0.0,507520,45,195071,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.125,10.625,53.5,56,9.53125,5,8
2008-11-21-11:54:04.468,,,,,2008-11-21-11:54:07.476,02.11.36,-66.6875,active1,registered,On,Ready,-27.8359375,26583,19340,0.0,507593,45,195134,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.15625,11.1875,51.5,56,10.2812
2008-11-21-11:54:04.984,,,,,2008-11-21-11:54:07.990,02.11.36,-61.0625,active1,registered,On,Ready,-17.71875,20295,28376,0.0,507656,45,195264,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.1875,11.28125,53.5,57,10.5,6,8,7,1
2008-11-21-11:54:05.468,,,,,2008-11-21-11:54:08.476,02.11.36,-60.40625,active1,registered,On,Ready,-22.578125,47259,35972,0.0,507782,45,195331,3942,188,1,89,172.16.8.69,19,89,-69.15625,9.125,53.5,57,10.6875,6

```

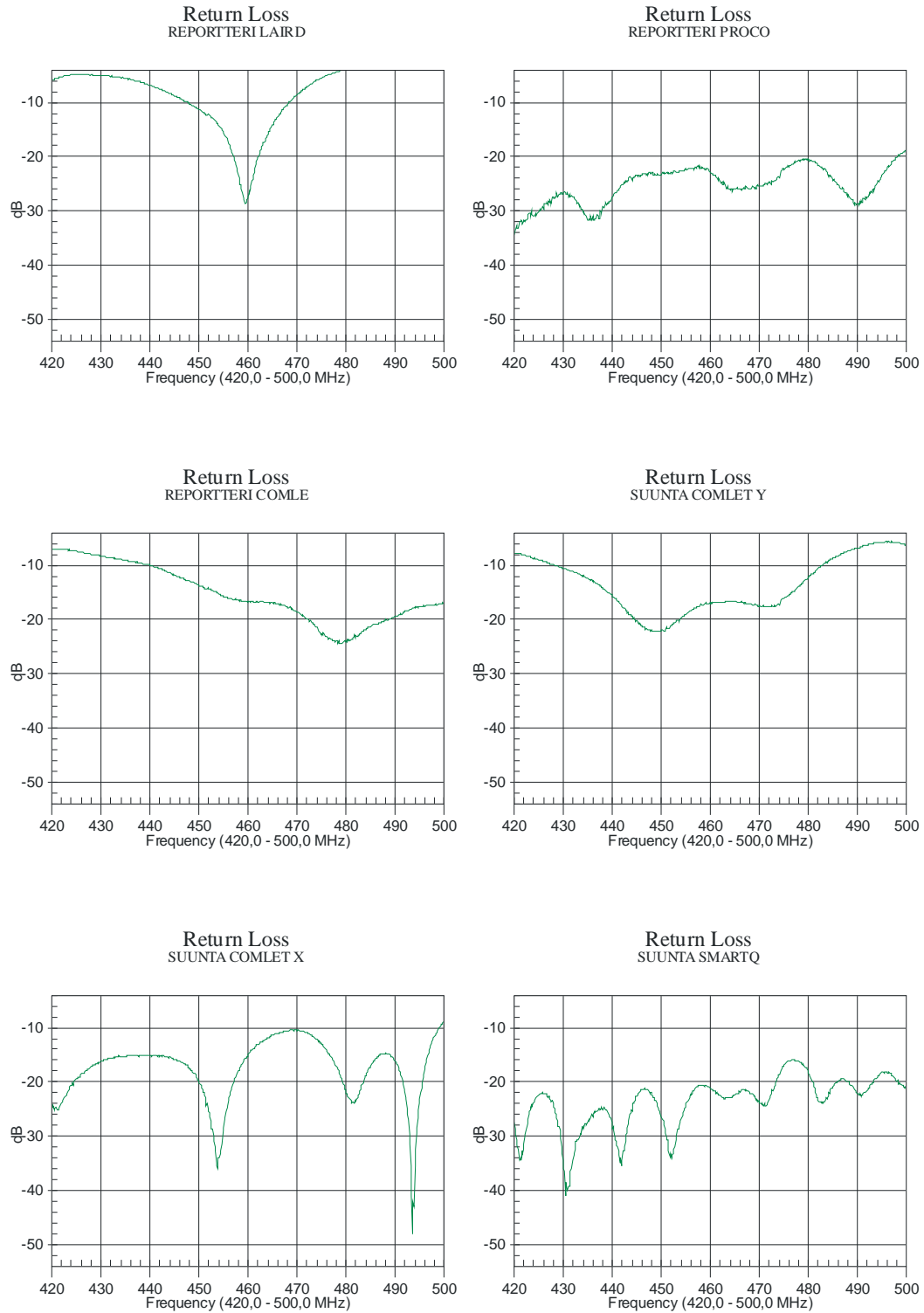




### Liite 4: Pilot PWR, TX0 backoff ja RX0 SNR esimerkki kaaviot

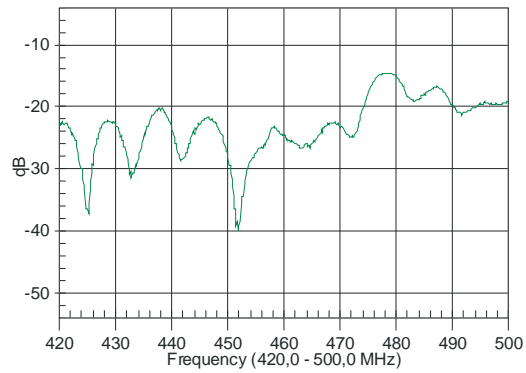


## Liite 5: Mitatut käyrät antennien paluuvaimennuksesta

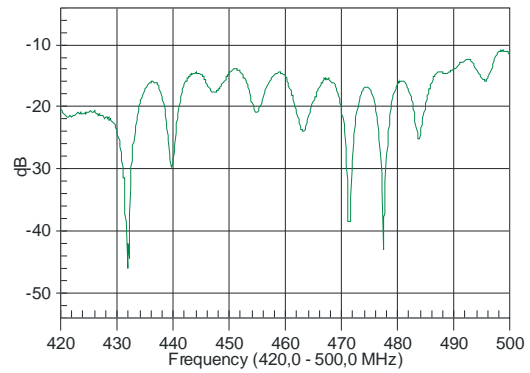


## Liite 5: Mitatut käyrät antennien paluuvaimennuksesta

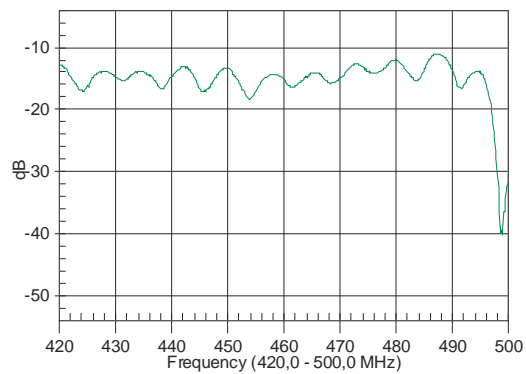
Return Loss  
SUUNTA SONERA



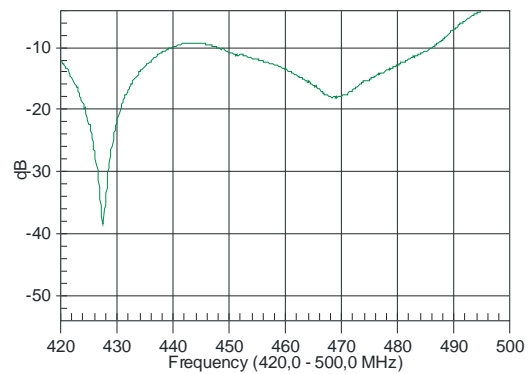
Return Loss  
SUUNTA TELETU



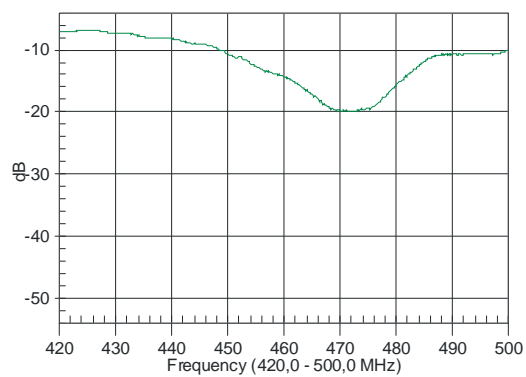
Return Loss  
SUUNTA FINNSAT



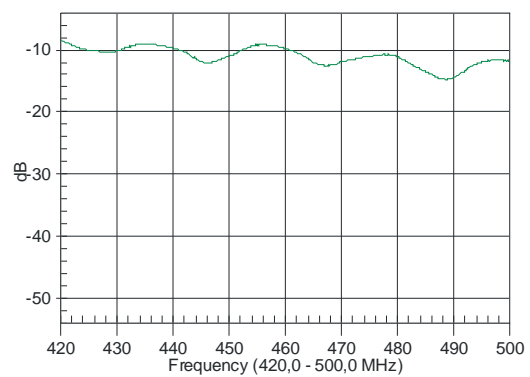
Return Loss  
SUUNTA ELCARD



Return Loss  
YMPARIS PANOR I

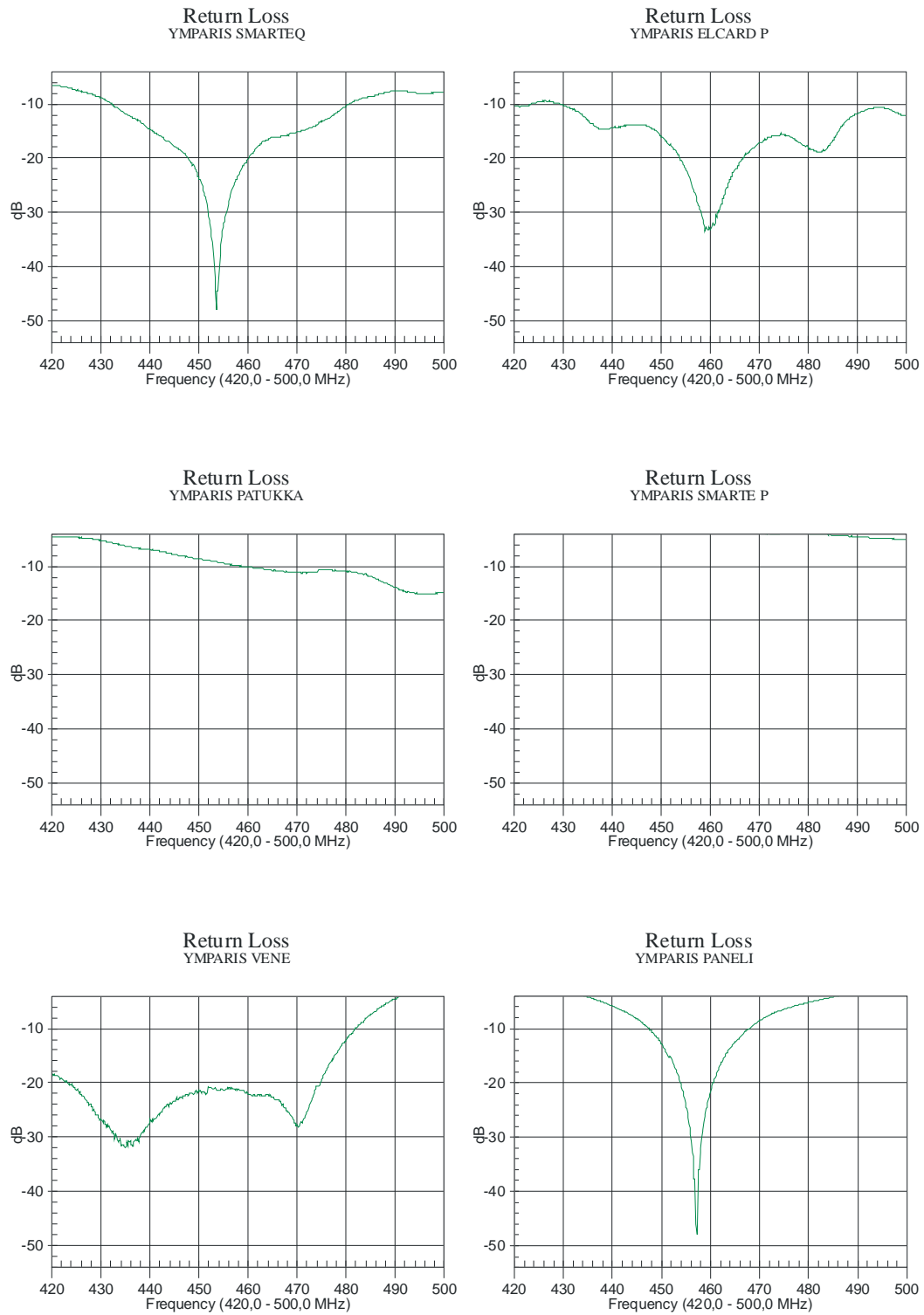


Return Loss  
YMPARIS PANOR P

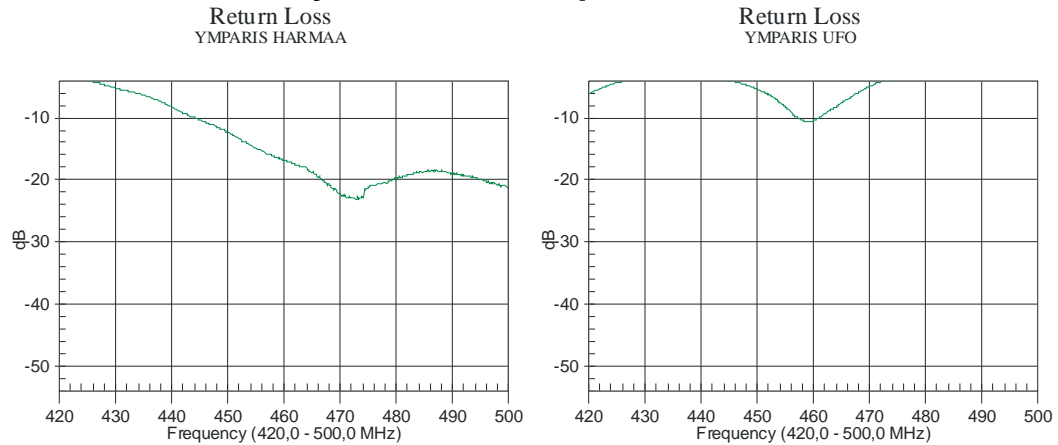




## Liite 5: Mitatut käyrät antennien paluuvaimennuksesta



## Liite 5: Mitatut käyrät antennien paluuvaimennuksesta



Selitykset antennien nimille	
Antennin nimi Retun Loss graafissa	Antennin nimi työssä
REPORTTERI LAIRD	Reportteriantenni Laird
REPORTTERI PROCO	Reportteriantenni Procom
REPORTTERI COMLE	Reportteriantenni Completech
SUUNTA COMLET Y	Suunta-antenni Completech Y
SUUNTA COMLET X	Suunta-antenni Completech X
SUUNTA SMARTEQ	Suunta-antenni Smarteq
SUUNTA SONERA	Suunta-antenni Carant
SUUNTA TELETU	Suunta-antenni Teletuote
SUUNTA FINNSAT	Suunta-antenni Finnsat
SUUNTA ELCARD	Suunta-antenni Elcard
YMPARIS PANOR I	Ympärisäteilevä PanoramaAntIso
YMPARIS PANOR P	Ympärisäteilevä PanoramaAntPieni
YMPARIS ELCARD P	Ympärisäteilevä Elcard Pieni
YMPARIS PATUKKA	Ympärisäteilevä Elcard Patukka
YMPARIS SMARTE P	Ympärisäteilevä Smarteq Pieni
YMPARIS VENE	Ympärisäteilevä Veneantenni
YMPARIS HARMAA	Ympärisäteilevä Elcard Putki
YMPARIS UFO	Ympärisäteilevä Indagon Lautanen
YMPARIS PANEELI	Ympärisäteilevä Paneli
YMPARIS SMARTEQ	Referenssi

## Liite 6: FMDM-mittaohjelma

The screenshot displays the FMDM software interface with several key components:

- Receiver Status:** Shows Layer 3 States (Carrier 0, 1, 2) and Layer 2 States (MIP State). It includes traffic statistics for three carriers, such as Rx Total Power (dBm) and Rx SNR (dB).
- Connection Status:** Displays connection parameters like BS ID (7), BS IP (172.16.8.45), and Rx SNR (dB) (14.2).
- Channel Condition Plots:** A series of five graphs showing Rx SNR, Rx Data Rate, Rx Pilot Power, Tx DCH Backoff, and Tx Data Rate over time.
- Detailed Statistics Viewer:** A table providing comprehensive performance metrics for Rx and Tx channels, including SNR, frames per segment, and tones per symbol.
- Device CLI:** A terminal window showing the execution of various commands like 'get sysstat', 'mpperf', and 'get sysstat' to monitor system performance.
- Logging Control:** A section for managing log files, including a file identifier and options for logging markers and test comments.