

Opinnäytetyö (AMK)
Elektroniikan koulutusohjelma
Tietoliikennejärjestelmät
2011

Mikko Jakobsson

PITKÄAIKAISTEN DVB-T- KENTÄNVOIMAKKUUS- MITTAUSTEN ANALYSOINTI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Elektroniikan koulutusohjelma | Tietoliikennejärjestelmät

Opinnäytetyön valmistumisajankohta 2011 | Sivumäärä 55

Ohjaaja:

DI, Yliopettaja, Reijo Ekman

Mikko Jakobsson

PITKÄAIKAISTEN DVB-T KENTÄNVOIMAKKUUSMITTAUSTEN ANALYSOINTI

Tässä työssä tutkittiin DVB-T-ulkovastaanottoa. Tutkimuksissa analysoitiin vuoden 2010 ajalta kerääntynyttä dataa, jota oli vastaanotettu ICT-talolla Turussa. Syynä tutkimusaiheeseen oli, että seurattaisiin vuodenaikojen vaihtelu tehon sekä kentänvoimakkuuden käytöksessä. Työssä arvioidaan myös eroja teorian ja käytännön välillä.

Kuusistosta lähettämää TV-signaalia vastaanotettiin vuoden 2010 ajan. Työssä on käsitelty mekanismeja, jotka vaikuttavat TV-signaaliin sen reitillä, joita ovat esim. sääolosuhteet ja monitie-eteneminen. Työssä pyrittiin korostamaan mittaustuloksia sekä erilaisten vaikuttavien mekanismien vertailua ja löytää näiden kahden välille yhteys. Mittaustyö on tehty Turun AMK:n tiloissa ICT-talolla.

Työn tuloksena on selvinnyt selkeä yhteys signaalin heikentymiselle ja vuodenajan vaihtelulle. Tuloksista huomattiin myös muiden ulkoisten mekanismien vaikutus signaalin käytökselle. Teoria ja käytäntö kohtaavat tässä tapauksessa, joten tuloksien merkitystä voidaan pitää havainnollistavina. Pystytettäessä uusia radiolinkkejä voidaan huomioda nämä erilaiset mekanismit ja näin saada parempia linkkiyhteyksiä.

ASIASANAT:

DVB-T, ulkovastaanotto, kentänvoimakkuus, radiotie-eteneminen, tietoliikenne

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Telecommunication Systems

Completion of the thesis 2011 | Total number of pages 55

Instructor

Reijo Ekman, M.Sc.EE, Principal Lecturer

Mikko Jakobsson

LONG-TERM DVB-T FIELD STRENGTH MEASUREMENT ANALYSIS

This Bachelor's Thesis deals with DVB-T outdoor reception. The main purpose was to analyse the data which was received in the year 2010 on the roof of ICT house. The reason for this subject was the need to find out the seasonal effect on the variation of powers and field strengths.

In this Thesis TV signal from Kuusisto was received during the year 2010. Mechanisms that affect TV signal on its route were processed. The main thing was to compare received data and different kinds of mechanisms and find a connection between them. Measurements were performed in the Turku University of Applied Sciences, in the premises of ICT house.

As a result of this study a connection between signal strength and seasonal variation was noticed. It appeared from the study that other external mechanisms also affected signal behaviour. Importance of the results can be considered illustrative of the case where theory and practice meet. When new radio links are being put up, these different mechanisms can be considered in order to put up better radio links.

KEYWORDS:

DVB-T, outdoor reception, field strength, radio links, communication networks

ALKULAUSE

Haluan kiittää työn valvojaa, yliopettaja Reijo Ekmania hyvästä ohjauksesta sekä mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö. Haluan myös kiittää vanhempiani, jotka ovat tukeneet minua koulunkäynnissä sekä elämässä.

Turussa 11.5.2011

Mikko Jakobsson

SISÄLTÖ

LYHENTEET

1 JOHDANTO	1
2 DVB-T STANDARDI	2
3 RADIOTIE-ETENEMINEN	3
3.1 Sähkömagneettinen säteily	3
3.2 Radiotie-etenemisen teoria	4
3.3 Eteneminen näköyhteysreittiä pitkin	6
4 KENTÄNVOIMAKKUUKSIEN MERKITYS VERKKOSUUNNITTELUSSA	9
5 ETENEMISEEN VAIKUTTAVAT MEKANISMIT	11
5.1 Heijastuminen maanpinnasta ja monitie-eteneminen	11
5.2 Sironna	13
5.2.1 Hidas häipymä	15
5.2.2 Nopea häipymä	15
5.3 Sääilmiöt	16
6 KANAVAMALLIT	17
6.1 Ricen kanava	18
6.2 Rayleigh-kanava	19
6.3 Työssä käytetyt moodit	20
6.4 Linkkibudjetti	21
6.5 Fresnel	23
7 MITTAUKSET	24
7.1 Mittausjärjestelmä	26
7.2 Vastaanotettu teho kuukauden aikana	28
7.3 Vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukauden aikana	32
7.4 Vastaanotetun tehon ja kentänvoimakkuuden keskiarvo ja keskihajonta kuukauden aikana	36
7.5 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana	39
7.5.1 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana 538 MHz:n taajuudella	40
7.5.2 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana 714 MHz:n taajuudella	42
7.5.3 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana 786 MHz:n taajuudella	44
7.6 Vastaanotetun tehon keskiarvo ja keskihajonta vuorokauden aikana	46
8 ANALYSOINTI	52
8.1 Vuodenajan ja sään vaikutus tehon vaihteluun	52
8.2 Muiden mekanismien aiheuttama vaihtelu tehossa	53

9	YHTEENVETO	
10	LÄHTEET	

54
55

LIITTEET

- Liite 1. Vastaanottoantenni Televes DAT UHF 45 Data Sheet [pdf-dokumentti]
Saatavilla: http://www.dastv.co.uk/shop/docs/Televes_DAT.pdf (luettu 11.5.2011)
- Liite 2. Testivastaanotin R&S TSM-DVB DVB-T/H Data Sheet [pdf-dokumentti]
Saatavilla: http://www2.rohde-schwarz.com/file/TSM-DVB_dat_en.pdf (luettu 11.5.2011)

LYHENTEET

A	Amplitudi
A_e	Antennin efektiivinen pinta-ala
B	Kaistanleveys
c	Valonnopeus
C/N	Carrier To Noise, signaalin tehon suhteena signaalia häiritsevän kohinan tehoon
dB	Desibeli
dBm	Desibelimilli
E	Kentänvoimakkuus
E	Sähkökenttä
\vec{E}	Polarisaatio
F	Kohinaluku
G_{RX}	Vastaanottoantennin vahvistus
G_{TX}	Lähetysantennin vahvistus
f	Taajuus
H	Magneettikenttä
k	Boltzmannin vakio ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)
L_f	Etenemisvaimennus
N	Kohinataso
P_{RX}	Vastaanotettu teho watteina
P_{TX}	Lähetetty teho watteina
r	Säde
S	Tehotiheys
T	Referenssilämpötila (290 K)
x(t)	Sisään tuleva signaali
y(t)	Lähtevä signaali
Z_0	Vapaantilan impedanssi (120π)
\emptyset	Vaihe

λ	Aallonpituus
ρ_i	Vaimennus
T_i	Viive
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable, kaapelissa siirrettävän digitaalisen television standardi
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Satellite, satelliitin välityksellä siirrettävän digitaalisen television standardi
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial, maanpäällisen digitaalisen television standardi
EIRP	Equivalent isotropically radiated power
ELF	Extremely Low Frequency
ETSI	European Telecommunications Standards
HF	High Frequency
IPR	Intellectual Property Rights Module
LF	Low Frequency
LOS	Line-Of-Sight, näköyhteys
MF	Medium Frequency
SFN	Single Frequency Network
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VLF	Very Low Frequency

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on tuoda esille pitkäaikaisten kentänvoimakkuusmittauksien tulokset. Työssä tutkitaan DVB-T-lähetysten vastaanotettuja tehoja ja näin saadaan parempi käsitys, siitä miten TV-lähetysten tehon voimakkuudet vaihtelevat vuoden sisällä. Tuloksista etsitään mahdollisia voimakkuuksien vaihtelua ja niille mahdollisia syitä, jotka aiheuttavat vaihtelut. Tarkoituksena on myös koota muita mekanismeja, jotka vaikuttavat digitaaliseen maanpäälliseen televisiolähetykseen. Erilaisten sääilmiöiden vaikutus DVB-T läheteeseen on tärkeässä osassa.

Kentänvoimakkuusmittauksia on tehty paljon ja tuloksia on julkaistu aikaisemmin. Mittaukset ovat olleet niin kiinteitä mittauksia kuin myös mobiileja eli liikkuvia mittauksia. Mittaukset ovat yleensä tehty yritysten taikka organisaatioiden käyttöön tutkimus ja kehitystyöhön.

Työn tavoitteena on selvittää, miten teho vaihtelee vuoden aikana sääilmiöiden sekä muiden mahdollisten mekanismien johdosta. Työssä pyritään antamaan lukijalle käsitys myös siitä, miten digitaalinen maanpäällinen televisiolähetys etenee ja näin auttaa käsittämään, mitä tulisi ottaa huomioon televisio antennia asennettaessa.

Työssä mitataan tehoa Turun ammattikorkeakoulun ICT-talon katolle asennetulla UHF-antennilla. Lähetysantenni sijaitsee Kuusiston radioantennissa, josta lähetetään Turun alueelle digitaalista maanpäällistä televisiolähetystä antennitalouksiin.

Työselostus jakautuu kahteen pääosaan. Ensimmäinen osio esittelee teoriaa siitä, miten digitaalinen maanpäällinen televisiolähetys etenee ja mitä mekanismeja siihen kuuluu. Sama osio esittelee myös mekanismit, jotka tulee ottaa huomioon digitaalista televisioverkkoa rakentaessa. Toinen osio keskittyy mittaustulosten esittelyyn sekä niiden tutkimiseen sekä analysointiin. Toisessa osiossa puhutaan myös löytyykö mittauksista näitä mekanismeja, joita osiossa yksi on kerrottu. Työssä pyritään painottamaan mittaustuloksia, sillä käytännön testit sekä mittaukset eivät aina vastaa sitä mitä teoria kertoo. Ne antavat paremman kuvan siitä, miten teho käyttäytyy kuin teoria.

2 DVB-T STANDARDI

DVB-standardit (Digital Video Broadcasting) on luotu digitaalista televisiota varten. Projektissa on osallisena yli 250 organisaatiota yli 35 maassa. Jäseniin kuuluu televisioyhtiöitä, laitevalmistajia, verkko-operaattoreita sekä erilaisia säädännöllisiä elimiä. Näiden päämääränä on suunnitella standardikokoelma, joilla pystytään lähettämään digitaalista televisiolähetystä ympäri maailman. Nykyisin useat televisioyhtiöt lähettävät ohjelmia, jotka perustuvat DVB-standardiin.[1]

Standardien julkaisusta vastaa ETSI (European Telecommunications Standards). Projektissa on myös paljon tarkastuksia sekä tasauksia, joiden tarkoitus on pitää standardit markkinavetoisina sekä toteuttamiskelpoisina. Standardien tekijät ovat tehneet sopimuksen Intellectual Property Rights Modulen (IPR) kanssa. Sopimuksessa oikeutetaan IPR valvomaan DVB-projekteja ja, että DVB-standardit ovat avoimia jokaiselle käyttäjälle, jotka ovat kiinnostuneet niistä. [1]

DVB on standardoinut kolme eri lähetystapaa:

- DVB-C, joka on kaapeleissa lähetettävä standardi
- DVB-S, joka on satelliiteissa lähetettävä standardi
- DVB-T, joka on maanpäälliseen lähetystekniikkaan pohjautuva standardi. [1]

DVB-T standardi EN 300-744 julkaistiin vuonna 1996, ja se on viimeinen standardi joka kehitettiin DVB-sarjaan. Se on myös DVB-sarjan monimutkaisin järjestelmä. [1]

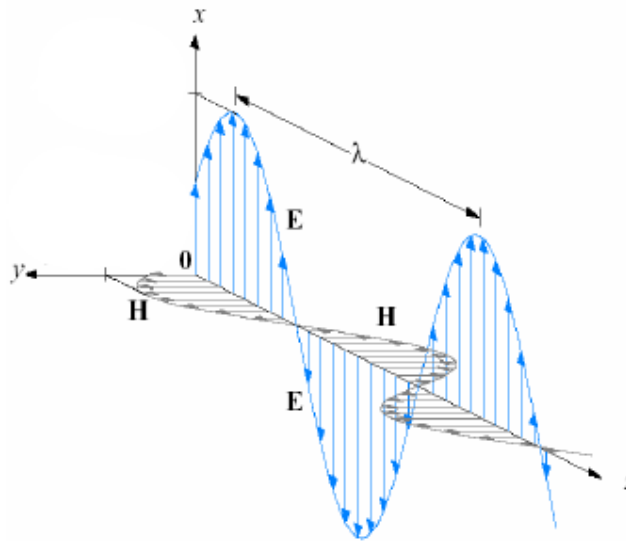
DVB-T standardi tukee yhden taajuuden verkkojen rakentamista (SFN Single Frequency Network). SNF-verkossa samoja kanavia lähettävät lähetimet käyttävät samaa taajuutta, ja täten on vain yksi lähetystaajuus kanavaa kohden koko lähetysalueella. SNF-verkot säästävät spektriä, sillä vierekkäisiä lähettimiä varten ei tarvitse varata taajuuksia. Verkkojen koko on kuitenkin rajallinen, eikä yhdellä taajuudella ole mahdollista kattaa koko maata. [2]

DVB-T on saavuttanut suuren suosion koko maailmassa, ja suosio tulee kasvamaan, koska uusia standardeja, esim. DVB-T2, kehitellään jatkuvasti.

3 RADIOTIE-ETENEMINEN

3.1 Sähkömagneettinen säteily

Radioaallot ovat itsessään sähkömagneettista säteilyä, joka etenee tyhjiössä valon nopeudella. Sähkömagneettiset aallot sisältävät sähkö- (E) sekä magneettikentän (H). Sähkömagneettinen säteily etenee toisiaan ja etenemissuuntaansa nähden kohtisuorassa olevina sähkö- ja magneettikenttänä. (Kuva 1.)



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn eteneminen[3]

Radioaallon aallonpituus λ on verrannollinen radioaallon taajuuteen f . Aallonpituus λ saadaan kaavasta [4]

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1)$$

missä $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ on valonnopeus tyhjiössä.[4]

Radioaallot jakautuvat seuraaviin taajuusalueisiin:

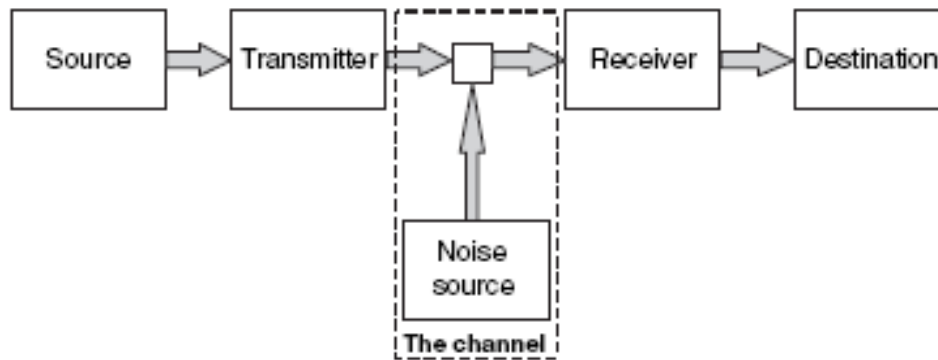
- ELF (Extremely Low Frequency) 30 – 3000 Hz
- VLF (Very Low Frequency) 3 – 30 kHz
- LF (Low Frequency) 30 – 300 kHz
- MF (Medium Frequency) 0,3 – 3 MHz

- HF (High Frequency) 3 – 30 MHz
- VHF (Very High Frequency) 30 – 300 MHz
- UHF (Ultra High Frequency) 0,3 – 300 GHz.

Taajuusalueet on jaettu aallonpituuden sekä taajuuden perusteella. Tässä työssä tehdyt mittaukset sijoittuvat UHF-alueelle, jossa lähetetään tällä hetkellä digitaalista televisiokuvaa eri kanavanipuissa. [4]

3.2 Radiotie-etenemisen teoria

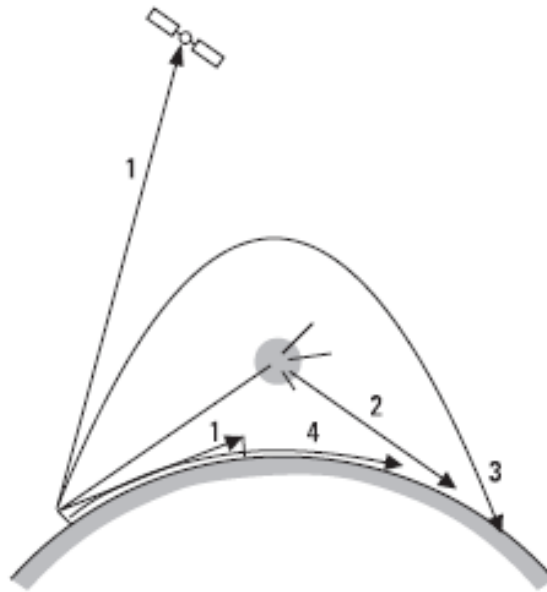
Radiotie-etenemisellä tarkoitetaan itse radioaallon etenemistä paikasta A paikkaan B (Kuva 2.). Yleensä A tai B on lähetys- sekä vastaanotto-antenni taikka lähetin sekä vastaanottolaite esim. digisovitin. Eteneminen on monimutkainen prosessi ja etenemiseen vaikuttavat monet asiat, niin ihmisen aiheuttamat kuin myös ihmisistä riippumattomat asiat. Vaikuttavimmat päätekijät löytyvät kuitenkin taajuudesta sekä siirtoyhteyden pituudesta.



Kuva 2. Yksinkertainen lohkokaavio radiotie-etenemisestä.[5]

Radiotie-eteneminen tapahtuu monella eri tavalla riippuen välimatkasta, taajuudesta sekä tavasta, jolla tieto halutaan siirtää. Tärkeimmät etenemismekanismit ovat:

- eteneminen näköyhteysreittiä pitkin (Kuvassa 3 nro 1)
- eteneminen sironnan avulla (Kuvassa 3 nro 2)
- ionosfäärieteneminen (Kuvassa 3 nro 3)
- eteneminen maapinta-aaltona (Kuvassa 3 nro 4).

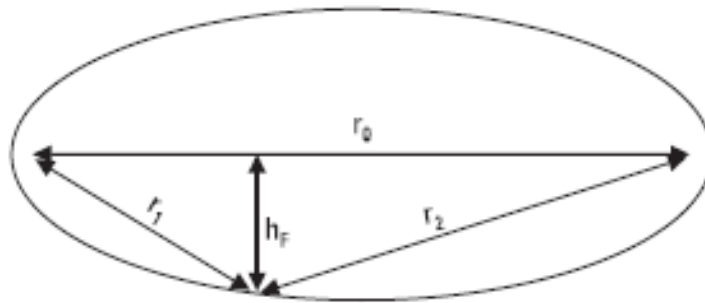


Kuva 3. Etenemismekanismit 1, 2, 3 ja 4.[6]

Tässä työssä keskitytään etenemiseen näköyhteysreittiä pitkin (nro 1) sekä etenemiseen sironnan avulla (nro 2). Työn taajuudet sijaitsevat UHF-alueella, joten eteneminen ilmakehässä on suoraviivaista. Puut ja maasto sekä myös vuodenajat ja sateet lisäävät vaimennusta radiosignaaliin. Troposfäärillä, joka on lähinnä maata oleva ilmakehän kerros (10 – 20 km), on myös olennainen osa radiotie-etenemistä. Aallot vaimenevat, siroavat, kaartuvat sekä mahdollisesti myös heijastuvat. Näiden etenemiseen vaikuttavien esteiden johdosta radiosignaali ei tule vastaanottiin välttämättä halutulla tavalla. Sen amplitudi (A), vaihe (\varnothing) ja polarisaatio (\vec{E}) voivat olla muuttunut.[4]

3.3 Eteneminen näköyhteysreitillä pitkin

Näköyhteysreitti eli LOS (Line-Of-Sight) tarkoittaa radioaaltojen etenemistä vapaassa tilassa, jossa ei ole mitään esteitä, vaan aalto pääsee etenemään suoraan heijastumatta ja vaimentumatta. Tämä tila vastaa tyhjiötä. Vastaanotettu signaali vastaa tällöin täysin lähetettyä signaalia. Jotta radioaalto ei vaimentuisi näköyhteysreitillä, se vaatii riittävästi vapaata tilaa. Tätä tilaa kutsutaan 1. Fresnelin ellipsoidiksi taikka 1.vyöhykkeeksi. (Kuva 4.) [6]



Kuva 4. Fresnelin ellipsoidi. [6]

Kuvassa 4 r_1 ja r_2 ovat ellipsoidin polttopisteiden etäisyydet lähetys- ja vastaanottopisteistä ja r_0 on suora etäisyys. λ on aallonpituus. Tästä saadaan yhtälö

$$r_1 + r_2 - r_0 = \lambda/2 \quad (2)$$

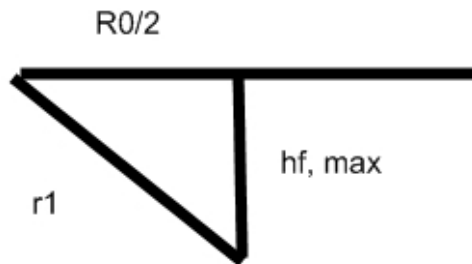
Yhtälöstä huomataan että Fresnelin ellipsi on sitä suurempi, mitä suurempi on aallonpituus. [7]

Ellipsoidi on vertikaalisesti paksuin keskeltä, jolloin saadaan yhtälö

$$r_1 = r_2 = \frac{1}{2}r_0 \quad (3)$$

Fresnelin ellipsoidin pyörehdys säde h_f metreissä on

$$h_f = \sqrt{\frac{\lambda \cdot r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}} \quad (4)$$



Kuva 5. h_f, \max .

Maksimissaan säde metreissä on $h_{f, \max} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot r_0 / 2}{2}} = 1/2 \sqrt{\lambda \cdot r_0}$ (Kuva 5.) [8] (5)

Jos Fresnelin 1. vyöhykkeellä ei ole esteitä ja vapaan tilan eteneminen on mahdollista, niin silloin voidaan laskea linkkiyhteyksiä käyttäen vapaan tilan kaavoja.

Jos vyöhykkeellä on esteitä, niin ne on otettava huomioon laskettaessa kentänvoimakkuuksia. Kaavat, joita käytetään näissä laskuissa, on monimutkaisia ja ne ovat kokemus- sekä tapauskohtaisia. Niitä on hyvä käyttää verkkosuunnittelussa mutta tässä työssä niitä ei käytetä. Yleensä linkkimastot suunnitellaan niin, että Fresnelin 1. vyöhyke on irti maasta. [8], [7]

Vapaan tilan vastaanotettu teho sekä vapaan tilan vaimennus (Free Space Loss) voidaan laskea seuraavilla kaavoilla

$$P_{RX} = \left(\frac{G_{TX} P_{TX}}{4\pi R^2} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) G_{RX}, \quad (6)$$

jossa P_{RX} on vastaanotettu teho watteina, P_{TX} on lähtetimen teho watteina, λ on aallonpituus metreinä, R on yhteysvälin pituus metreissä, G_{RX} ja G_{TX} on vastaanottoantennin ja lähetysantennin vahvistus mutta ne ovat yksiköttömiä suureita. [4], [7]

Mikäli lähetys- ja vastaanottoantennit ovat isotrooppisia merkitään $G_{TX} = G_{RX} = 1$ eli 0 dB, tällöin yhteysvaimennus on [4]

$$\frac{P_{TX}}{P_{RX}} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 = \frac{(4\pi R)^2 f^2}{c^2}, \quad (7)$$

sama ilmaistuna desibeleissä

$$\begin{aligned} L_F &= 10 \log \left(\frac{P_{TX}}{P_{RX}} \right) (dB) \\ &= 20 \log(4\pi R) + 20 \log(f) - 20 \log(c) \\ &= 42,44 + 20 \log R_{km} + 20 \log f_{MHz} \end{aligned} \quad (8)$$

Jos antennivahvistukset ovat mukana, vapaantilan etenemisvaimennus määritellään

$$L_F = 10 \log \left(\frac{P_{TX}}{P_{RX}} \right) = -10 \log \left(\frac{G_{TX} G_{RX} \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \right) (dB) \quad (9)$$

Edelliset lausekkeet (6), (7), (8) ja (9) ovat johdatettu Friisin vapaantilamallin etenemiskaavoista. Friisin kaavoja voidaan käyttää kun signaalia lähetetään ja vastaanotetaan ideaalisissa olosuhteissa. [4], [5], [7]

4 KENTÄNVOIMAKKUUKSIEN MERKITYS VERKKOSUUNNITTELUSSA

Verkkosuunnittelussa puhutaan usein kentänvoimakkuuksista. Ne ovat tärkeitä mitoitettaessa ja suunniteltaessa antenniverkkoja. Kentänvoimakkuudet eroavat signaalivoimakkuuksista mittaustavassa, suureissa ja tavassa laskea niitä. Signaalivoimakkuudella tarkoitetaan vastaanotettua signaalia desibeleissä antenniliittimessä, jolloin signaali on mahdollisesti voimistunut riippuen antennin vahvistuksesta. Signaali voi olla myös vaimentunut, riippuen huonoista johdoista taikka kaapeleista. Kentänvoimakkuudella tarkoitetaan säteilyosion suuruutta vastaanottoantennin säteilykentässä ja niitä merkataan Wattia per neliömetri taikka Volttia per metri. [4], [9]

Tässä työssä on tärkeää ottaa esille kentänvoimakkuuksien laskentatavat sekä suureet, jotka sisältyvät kentänvoimakkuuksiin. Seuraavassa on esitelty lähetetyn ja vastaanotetun tehon suhde kentänvoimakkuuteen.[10]

Isotrooppisen häviöttömän antennin tehotiheys vapaassa tilassa on

$$S_{isot} = \frac{P_{TX}}{4\pi R^2} (W / m^2) \quad (10)$$

Lähetysantennin aiheuttama tehotiheys vapaassa tilassa on

$$S = \frac{G_{TX} P_{TX}}{4\pi R^2} \quad (11)$$

Teho häviää pallopinnalle, kuten yhtälöistä (10) ja (11) huomataan. [6],[9]

Vastaanottoantennin sieppaama teho voidaan laskea seuraavalla tavalla[8]

$$P_{RX} = A_e \cdot S(W) \quad (12)$$

Jossa A_e on antennin efektiivinen pinta-ala, joka saadaan laskettua kaavalla [8]

$$A_e = \frac{G_{RX} \lambda^2}{4\pi}$$

(13)

Kentänvoimakkuuden ja tehotiheyden välinen yhteys vapaassa tilassa voidaan esittää seuraavasti

$$S = \frac{E^2}{Z_0} (W / m^2), \quad (14)$$

jossa Z_0 on vapaantilan impedanssi 120π ja E on kentänvoimakkuus.[10]

Yhdistetään kaavat (13) ja (14) vastaanottoantennin sieppaamaan tehon lausekkeeseen (12), jolloin saadaan

$$P_{RX} = \frac{G_{RX} \lambda^2}{4\pi} \frac{E^2}{Z_0} (W) \quad (15)$$

Lauseketta (15) pyörittelemällä saadaan kentänvoimakkuudelle E lauseke

$$E = \sqrt{\frac{P_{RX}}{G_{RX}}} \sqrt{4\pi Z_0} \frac{f}{c} (V / m) \quad (16)$$

Täten saatiin kentänvoimakkuuden, vastaanotetun tehon, vastaanottoantennin vahvistuksen ja taajuuden välille yhtälö.[11]

Mitoitettaessa ja suunniteltaessa verkkoja laskuissa käytetään yleensä desibelejä

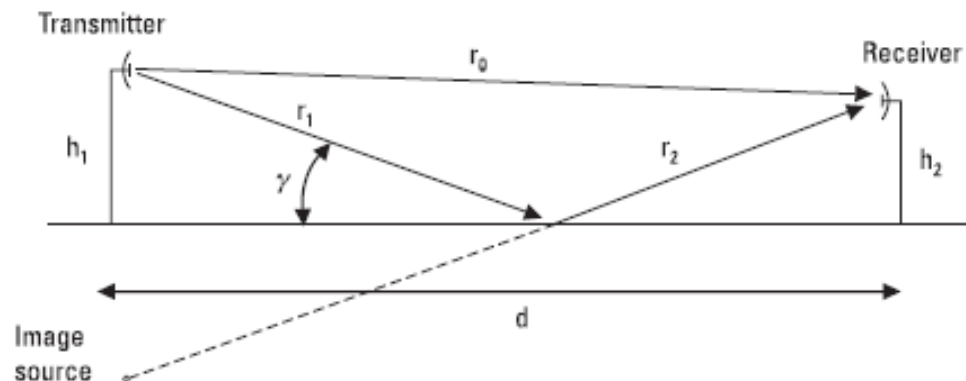
$$E(dB\mu V / m) = P_{RX}(dBm) - G_{RX}(dBi) + 77,2 + 20 \log f(Mhz) \quad (17)$$

5 ETENEMISEEN VAIKUTTAVAT MEKANISMIT

Radioaalto pääsee harvoin etenemään puhtaasti näköyhteysreitillä lähetysantennista vastaanottimeen. Nämä aiheuttavat ei-toivottuja ominaisuuksia signaalille. Ne vaimentavat ja vääristävät signaalia riippuen miten radioaalto on edennyt saapuessaan vastaanottoantenniin. Seuraavassa kappaleessa selvitetään muutamia mekanismeja, joita tulisi ottaa huomioon tässä työssä.[7]

5.1 Heijastuminen maanpinnasta ja monitie-eteneminen

Radioaallon edetessä ei voi olla törmäämättä heijastumiseen maanpinnasta. Maanpinta on epätasainen ja radioaallot reagoivat eri tavoin miten ja mihin ne ovat törmänneet. Tässä työssä maanpinnalla ja rakennuksilla on suurin merkitys etenemisessä. Varsinkin näköyhteysreitillä vastaanotin saattaa nähdä suoran säteen lisäksi heijastuneen säteen. Tätä ilmiötä kutsutaan monitie-etenemiseksi.(Kuva 6)[7]

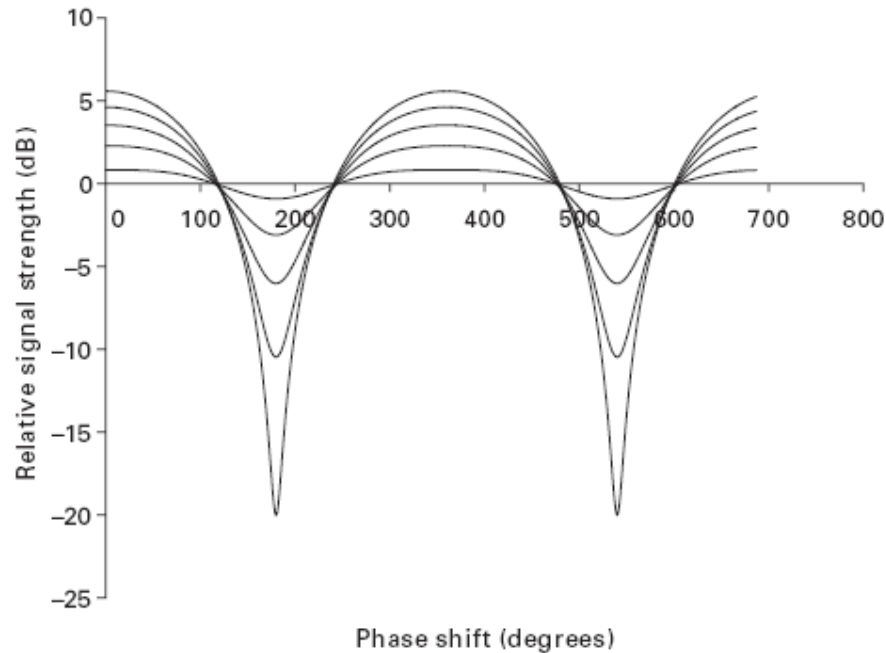


Kuva 6. Monitie-eteneminen tasaisella pinnalla. Suoraan edennyt ja heijastunut aalto.[6]

Säde voi olla heijastunut maasta taikka rakennuksista. Kuiva maa ei heijasta paljon ja kosteat avarat maa-alueet taas lisäävät heijastusta, esim. märät pellot, suot, joet, järvet ja meri. Se miten aalto reagoi pintaan, johon se osuu, riippuu pinnan heijastuskertoimesta. Heijastuskerroin riippuu pinnan sähköisistä ominaisuuksista sekä aallon polarisaatiosta. [8], [7]

Huomattavin sekä epätoivotuin ominaisuus minkä monitie-eteneminen aiheuttaa on radioaallon vaihe-eron (\varnothing) muuttuminen. Lähettimen ja vastaanottimen matka-ero sekä antennin sijainti korkeussuunnassa määrittää missä vaiheessa aalto tulee

vastaanottimeen. Vaihe-erolla tarkoitetaan kahden toisiinsa lukitun signaalin vaihe-eroa eli miten paljon heijastanut säde on suoraa sädettä jäljessä. Vaihe-eroa voidaan merkitä joko radiaaneissa taikka asteina. Jos vaihe-ero suoralla ja heijastuneella on 180° , kumoavat signaalit tällöin toisensa ja tällöin vastaanottoon ei saada signaalia lainkaan. Tätä kutsutaan häipymäkuopaksi (fading dip). Vaihe-eron olleessa 0 vastaanottoon saadaan haluttu signaali.[4], [8], [7]

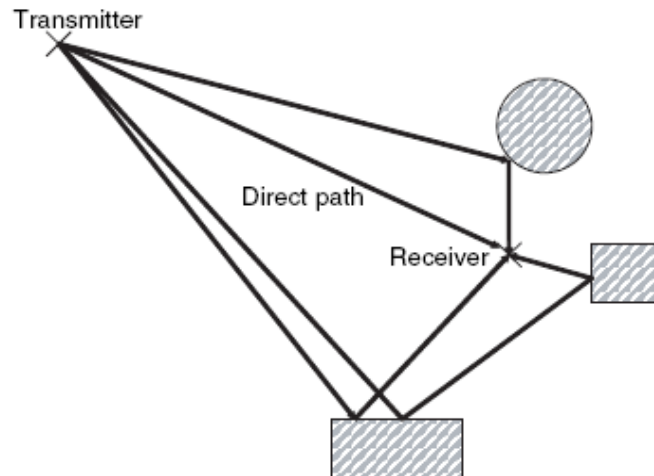


Kuva 7. Suhteellinen vaihe-eron vaikutus signaalin voimakkuuteen. [11]

Kuvasta 7 huomaa, että häipymäkuoppa on π :n eli 180° :n kohdalla. Todellisuudessa häipymäkuopan tulisi olla ääretön. Maksimikohdissa vahvistus on 6 dB. Tämä johtuu yksinkertaisesta syystä. Kun antenni vastaanottaa ainoastaan suoraan edenneen signaalin, vastaanottimessa havaitaan yksi amplitudi A . Vastaanotettua kaksi signaalia, joista toinen on suoraan edennyt signaali ja toinen heijastunut signaali mutta samassa vaiheessa kuin suoraan edennyt, vastaanottimessa havaitaan kaksi amplitudia eli $2A$. Amplitudi on siis kaksinkertainen. Tällöin voidaan laskea vahvistus seuraavalla kaavalla

$$20 \log \frac{2A}{1} = 6 \text{ dB} \quad (18)$$

Heijastumista voi matkan aikana tapahtua monesti ja heijastumia saattaa olla useita. Vastaanotettu signaali voi toisinaan olla jopa pelkkää heijastunutta aaltoa. Heijastumiset vaikuttavat olennaisesti tietoliikennejärjestelmien suunnittelussa koska on huomioitava kaikki heijastukset sillä ne vaikuttavat kentänvoimakkuuksiin. (Kuva 8.)



Kuva 8. Monitie-eteneminen. Radioaalto saapuu vastaanottimeen suoraan sekä 3:sta eri suunnasta.[11]

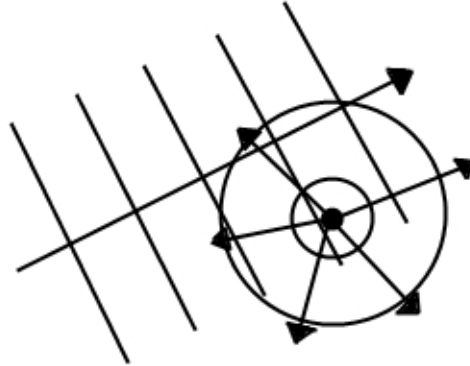
Tässä työssä maaston ja sen epätasaisuuden, rakennusten ja vesistön vaikutukset tulee ottaa huomioon kentänvoimakkuusmittauksissa. Lähetin ja vastaanottimen välillä on paljon metsä-aluetta, kerrostalo-asutusta sekä pieni joen uoma.

5.2 Sironta

Ilmakehän epähomogeenisuudet aiheuttavat sirontaa. Sironnalla tarkoitetaan sitä, että osa tasoallon koherentista tehosta muuttuu epäkoherenttiin muotoon ja säteilee laajaan avaruuskulmaan.[9] Sirontaa ilmenee kun radioaalto kulkee väliaineessa, jossa on paljon objekteja, joiden koko on pieni verrattuna aallonpituuteen. Sirontaa näin ollen esiintyy sitä enemmän mitä, pienempi aallonpituus on eli taajuuden kasvaessa. [4] Objekteja voivat olla esim. kasvien lehdistö, sadepisarat, rakeet ja lumihuutalet.

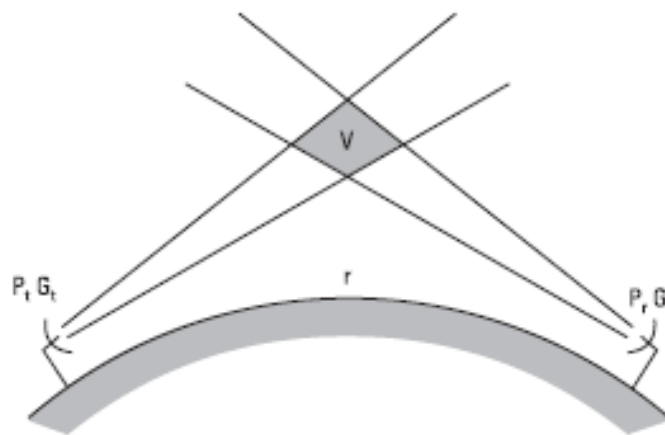
Sironnassa sähkömagneettinen säteily absorboituu materiaan, joka taas virittyy korkeampaan energiatilaan. Purkautuessaan materiasta, sähkömagneettista säteilyä

siroaa materiaan pallopinnasta joka suuntaan.(Kuva 9.) Sironut säteily on saman taajuisista kuin absorboitunut. [5]



Kuva 9. Radioaallon osuessa objektiin siroamista tapahtuu joka suuntaan.

Tavallisesti sironta aiheuttaa vaimennusta, mutta sitä voidaan myös käyttää hyödyksi radioyhteyksissä. Esimerkiksi eteneminen radiohorisontin taakse on mahdollista sironnalla.(Kuva10) Tässä työssä troposfäärisironnalla on vain pieni merkitys, sillä välimatka on lyhyt sekä lähettimen ja vastaanottimen välillä on näköyhteys. Aallonpituus on myös suhteellisen iso, joten sadeepisarat tai lumihiuhteet eivät vaikuta radioaallon etenemiseen paljoakaan. Vain sään ollessa rankka vesi- tai lumisateinen tai erittäin sumuinen niin sironnalla saattaa olla merkitystä kentänvoimakkuuksia mitatessa.[7], [11]

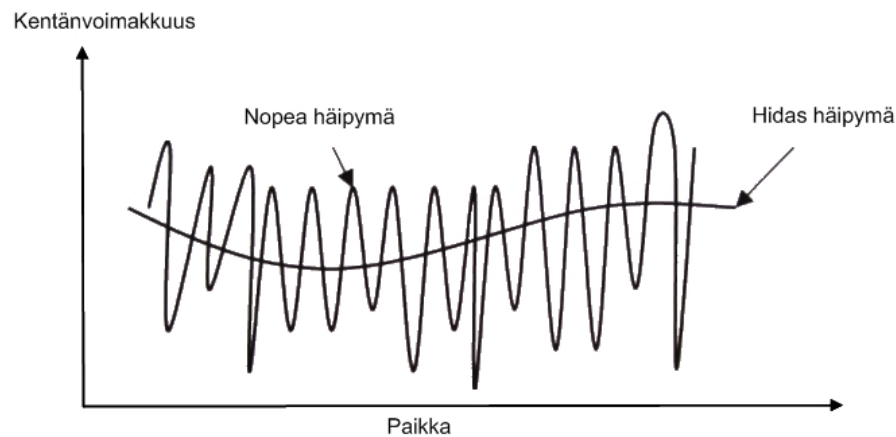


Kuva 10. Sirontaa hyväksi käytetty radioyhteys.[7]

Sirontayhteyden signaalille on ominaista häipyminen eli signaalin tason satunnainen vaihtelu. Häipyminen jaetaan etenemistiellä tapahtuvista suurista muutoksista johtuvaan hitaaseen häipymiseen ja monitie-etenemisestä johtuvaan nopeaan häipymiseen. [7]

5.2.1 Hidas häipymä

Hidas häipymä eli Rice-kanavan (Kuva 11.) häipymät johtuvat radiotiellä olevista esteistä, kuten rakennuksista ja maaston epätasaisuuksista. Tämä häipymä tulee ottaa huomioon, kun halutaan kuvailla kiinteää, kattovastaanottimen vastaanottokykyä. Hitaalla häipymällä ei ole siis mitään tekemistä monitie-etenemisen kanssa. Hitaassa häipymässä on siis vain yksi dominoiva signaali, jota voidaan kuvata suoraan edenneeksi signaaliksi. Tämän työn kannalta hitaalla häipymällä on huomattava merkitys, sillä lähetys- sekä vastaanottoantennit ovat kiinteitä sekä maasto ja rakennukset ovat suurin syy mahdolliseen kentänvoimakkuuden heikkenemiseen. [11], [12]



Kuva 11. Nopea ja hidas häipymä.

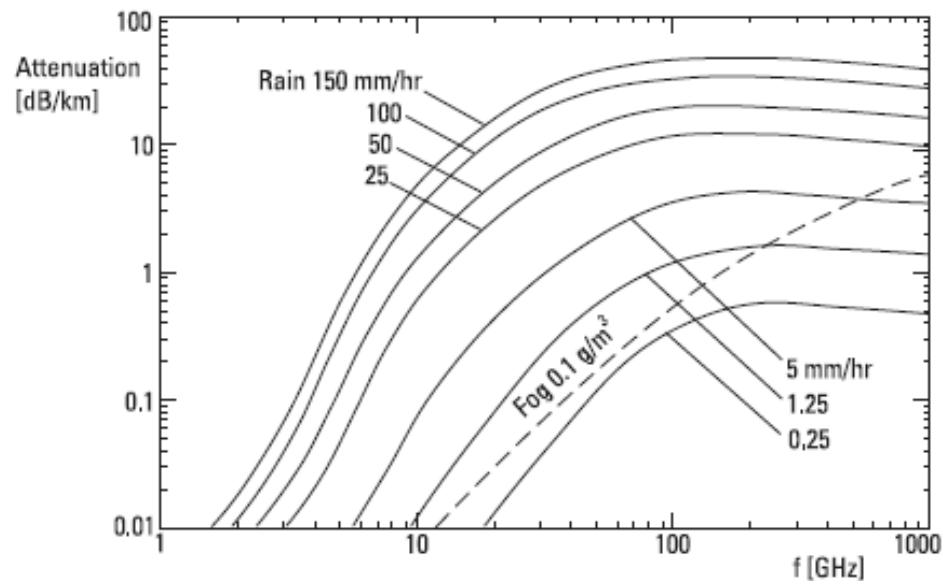
5.2.2 Nopea häipymä

Nopea häipymä eli Rayleigh-kanavan (Kuva 11.) häipymät aiheutuvat esteiden lisäksi monitie-etenemisestä. Tällöin vastaanotettu signaali on heijastunut, taipunut ja siroutunut. Suoraa signaalia ei ole kuten hitaassa häipymisessä, vaan vastaanotettu signaali on monen eri signaalin yhteenlaskettu summa. Signaalit voivat olla erivaiheisia

ja amplitudisia, jolloin signaali saattaa kadota jopa kokonaan tietyssä pisteessä. Tätä häipymää havaitaan käytettäessä kannettavia vastaanottimia sisä- tai ulkotiloissa. Hyvänä esimerkkinä toimivat kännykät kaupunkialueella. Tässä työssä ei Rayleigh häipymisellä ole huomattavaa merkitystä.[11], [12]

5.3 Säätömiöt

Säätömiöt troposfäärissä, kuten vesi-, lumisade, sumu ja kostea sää, vaikuttavat radioyhteyksiin vaimentamalla niitä. Luvussa 5.2 siroaminen sekä absorptio tulee ilmi kun puhutaan sääolosuhteiden muuttumisista. Säätömiöiden vaikutus voimistuu korkeampia taajuuksia käytettäessä, eli aallonpituus pienenee. Tässä työssä pysytään UHF-alueella, joten aallonpituus on 10 cm – 1 m. Tällä taajuusalueella säätömiöiden vaikutus ei ole kovin suuri lyhyillä matkoilla, mutta radiolinkkien pidentyessä sadevaimennuksella voi olla vaikutusta signaalinvoimakkuuteen. Sateen ja sumun vaikutuksista on tehty erilaisia diagrammeja, joita voidaan soveltaa jokaiseen tietoliikenteen sovellukseen.[5], [7]



Kuva 12. Sateen ja sumun vaimennus taajuuden funktiona. [6]

Kuvasta 12 nähdään, ettei alle 1 GHz:n taajuudella sateen taikka sumun vaikutus ole kovinkaan merkityksellinen. Toisaalta kuvasta huomataan, että vaimennus kuvataan dB/km, joten vaikka vaimennus olisi todella pieni 1 km:ssä, niin matkan pidentyessä 10

km:n, vaimennuskin kymmenkertaistuu. Tässä työssä äkillisillä sääolosuhteiden muuttumisilla saattaa olla vaikutusta kentänvoimakkuus mittauksissa.

6 KANAVAMALLIT

Radioyhteyksillä saatavaa vastaanotettua tehoa ei pystytä tarkasti ennustamaan. Joillakin yhteysväleillä signaalin voimakkuuksien vaihtelut voivat olla huomattavia. Jotta pystyttäisiin suunnittelemaan sekä rakentamaan luotettava radioyhteys on tunnettava yhteysvaimennuksen tilastollinen jakauma. Kanavamallit ovat näitä tilastollisia malleja, joilla pyritään kuvaamaan erilaisia radioyhteyksiä. Kanavamallit on työstetty erilaisin mittauksin, jotta pystyttäisiin ennen radioyhteyksien rakentamista simuloimaan kyseinen yhteys laboratorio-olosuhteissa. Täten saadaan paljon luotettavampi ja tehokkaampi yhteys. Aina tietenkään teoria ja käytäntö eroavat hieman tilanteesta riippuen.

Radiokanava on lähetyksiantennin ja vastaanottoantennin välinen radiotie. Antennia ei kuitenkaan yleensä pidetä radiokanavan osana. Tässä työssä keskitytään kiinteään radiokanavaan, joka tarkoittaa että lähetyksiantenni ja vastaanottoantenni ovat jatkuvasti samassa paikassa. Vastaanottoantenni on suunnattu lähetyksiantennia kohden, joten kyseessä on suora näköyhteys (LOS, Line-Of-Site). Parhaimmassa tapauksessa vain yksi dominoiva signaali vastaanotetaan. Korkeusero on ainoa eroavaisuus näillä kahdella antennilla ja se tulee huomioida työssä. [12]

Kanavamallien teoreettinen C/N (Carrier to Noise ratio) on laskettu DVB-T standardissa. Näitä kanavamalleja on 3:

- Gaussin kanava
- Ricen kanava
- Rayleigh-kanava

Gaussin kanavamalliin lisätään vain valkoista kohinaa (AWGN). Tämä malli soveltuu simulointityöhön esim. laboratoriossa. Rayleigh-malli on taas mallinnettu liikkuvaan sisä- ja ulkovastaanottoon. Siinä on otettu huomioon monitie-etenemisestä johtuvat vaihtelut. Tämä soveltuu esim. matkapuhelinjärjestelmien mallintamiseen. Tässä työssä tärkein kanavamalli on Ricen kanava, sillä se on laadittu vastaamaan

stationaarista eli ajasta riippumatonta vastaanottoa. Tässä mallinnuksessa käytetään myös suuntaavia antennoja. [12], [13]

6.1 Ricen kanava

Ricen kanava on suunniteltu kiinteään kattovastaanottoon. Rice-kanavassa on 21 polkua. Polut kuvaavat heijastumien määrää paitsi yksi, joka kuvaa suoraa sädettä. Rice-kanavan polut ovat määritelty seuraavalla kaavalla (impulssivaste) [12]

$$y(t) = \frac{\rho_0 x(t) + \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j\theta_i} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N \rho_i^2}} \quad (19)$$

jossa $x(t)$ on sisään tuleva signaali ja $y(t)$ on lähtevä signaali. ρ_i , τ_i , θ_i ovat taulukosta 3. N on heijastumien lukumäärä ja se on yhtä suuri kuin 20. Ensimmäinen termi (ρ_0) ennen summa merkkiä tarkoittaa suoraa sädettä (LOS) [12]

$$\rho_0 = \sqrt{10 \sum_{i=1}^N \rho_i^2} \quad (20)$$

Ricen-malli sisältä myös kertoimen K , joka kuvaa suoran säteen (LOS) tehon suhdetta heijastuvien säteiden tehoon. Kerroin saadaan seuraavalla kaavalla [12]

$$K = \frac{\rho_0^2}{\sum_{i=1}^N \rho_i^2} \quad (21)$$

Toisaalta, koska malli on suhteellisen monimutkainen, niin on päätetty käyttää vain 6 polkua. Nämä 6 polkua on suunniteltu toteuttamaan helpommin sama kuin 20-kanavaisella mallilla ja silti päästäisiin samaan lopputulokseen. 6 polkua on valittu 7/64 μ s kerrannaisilla. Kerrannaiset vastaavat 8 MHz:n kaistanleveyttä.[14] Taulukosta 1 nähdään, miten amplitudi, taso ja vaihe käyttäytyvät kunkin polun kohdalla.

Taulukko 1. Määritelmä Ricean kanavan 6-polun profiilista. [14]

Tap number	Sample number	Delay t (μs)	Amplitude r	Phase q (rad)	Level (dB)	Phase (deg)
1	0	0	1	0	0	0
2	4	0,4375	0,23174	0,64577	-12.7	37
3	6	0,65625	0,0881	2,54818	-21.1	146
4	18	1,96875	0,15849	-0,27925	-16.0	-16
5	26	2,84375	0,08511	-2,05949	-21.4	-118
6	30	3,28125	0,08222	3,01942	-21.7	173

6.2 Rayleigh-kanava

Rayleigh-kanava sopii, kuten aiemmin mainittiin, liikkuvaan vastaanottoon sisä- sekä ulkotiloissa. DVB-T standardista löytyvä Rayleigh-kanava on 20 polkuinen. Yksi polku kuvaa yhtä heijastumaa. Polut on määritelty seuraavalla kaavalla (impulssivaste) [12]

$$y(t) = k \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j\theta_i} x(t - \tau_i) \quad (22)$$

jossa $x(t)$ on sisään tuleva signaali ja $y(t)$ on lähtevä signaali. ρ_i , τ_i , θ_i ovat taulukosta 3 ja k on kaavasta

$$k = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \rho_i^2}} \quad (23)$$

Myös Rayleigh kanavamallilla on oma 6-polun profiili yksinkertaistamaan kanavamallia. Taulukosta 2 nähdään miten amplitudi, taso ja vaihe käyttäytyvät kunkin polun kohdalla.

Taulukko 2. Määritelmä Rayleigh kanavan 6-polun profiilista. [14]

Tap number	Sample number	Delay t (μs)	Amplitude r	Phase q (rad)	Level (dB)	Phase (deg)
1	0	0	0,45186	1,43117	-6.9	82
2	4	0,43750	0,81283	-2,37365	-1.8	-136
3	6	0,65625	1	0	0	0
4	17	1,85938	0,74131	-2,30383	-2.6	-132
5	25	2,73438	0,58210	1,91986	-4.7	110
6	29	3,17188	0,35892	0,90757	-8.9	52

Taulukko 3. Rice- ja Rayleigh-kanavan 20-polkuisen mallin vaimennus (ρ_i), viiveen (τ_i), ja vaiheen (θ_i) arvot. [12]

i	ρ_i	τ_i (μs)	θ_i (rad)
1	0,057 662	1,003 019	4,855 121
2	0,176 809	5,422 091	3,419 109
3	0,407 163	0,518 650	5,864 470
4	0,303 585	2,751 772	2,215 894
5	0,258 782	0,602 895	3,758 058
6	0,061 831	1,016 585	5,430 202
7	0,150 340	0,143 556	3,952 093
8	0,051 534	0,153 832	1,093 586
9	0,185 074	3,324 866	5,775 198
10	0,400 967	1,935 570	0,154 459
11	0,295 723	0,429 948	5,928 383
12	0,350 825	3,228 872	3,053 023
13	0,262 909	0,848 831	0,628 578
14	0,225 894	0,073 883	2,128 544
15	0,170 996	0,203 952	1,099 463
16	0,149 723	0,194 207	3,462 951
17	0,240 140	0,924 450	3,664 773
18	0,116 587	1,381 320	2,833 799
19	0,221 155	0,640 512	3,334 290
20	0,259 730	1,368 671	0,393 889

6.3 Työssä käytetyt moodit

DVB-T määrittelee suuren määrän erilaisia moodeja. Moodit määrittelevät tietyille parametreille erilaiset C/N vaatimukset. Nämä vaatimukset tulee ottaa huomioon laskettaessa linkkibudjettia. Tässä työssä mittauksia on suoritettu seuraavilla moodeilla.

1. 8K, 16 QAM, CR=1/2 GI=1/8, tarkoitettu liikkuvaan vastaanottoon.
2. 8K, 64 QAM, CR=2/3 GI=1/8, tarkoitettu kiinteään vastaanottoon. Käytössä Suomessa, maanpäälisissä digitaalisissa lähetyksissä.

Kanavamalleilla on minimi C/N arvo, jolla vastaanotto vielä toimii. Taulukossa 4 on Gaussin, Rayleigh'n ja Ricen kanavien vaatimat C/N arvot eri modulaatioilla ja koodinopeuksilla.

Taulukko 4. Vaadittava C/N Gaussin, Ricen ja Rayleigh'n kanavalle eri modulaatioilla ja koodinopeuksilla. [14]

Constellation	Code rate	Required C/N (dB) for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon (see note 2)			Bit rate (Mbit/s) (see note 3)			
		Gaussian channel (AWGN)	Ricean channel (F ₁)	Rayleigh channel (P ₁)	$\Delta T_U = 1/4$	$\Delta T_U = 1/8$	$\Delta T_U = 1/16$	$\Delta T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,5	4,1	5,9	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	5,3	6,1	9,6	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	6,3	7,2	12,4	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	7,3	8,5	15,6	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,9	9,2	17,5	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,3	9,8	11,8	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,4	12,1	15,3	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	12,6	13,4	18,1	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	13,8	14,8	21,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	14,4	15,7	23,6	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	13,8	14,3	16,4	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	16,7	17,3	20,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,2	18,9	23,0	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	19,4	20,4	26,2	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	20,2	21,3	28,6	26,13	29,03	30,74	31,67

NOTE 1: Figures in italics are approximate values.
NOTE 2: Quasi Error Free (QEF) means less than one uncorrected error event per hour, corresponding to BER = 10^{-11} at the input of the MPEG-2 demultiplexer.
NOTE 3: Net bit rates are given after the Reed-Solomon decoder.

Taulukosta 4 huomataan, että Gaussin kanavamalli vaatii vähiten signaali-kohinasuhdetta kun taas Rayleigh kanavamalli eniten. Ricen-kanavamallissa on päästy hyvin Gaussin ja Rayleigh'n kanavien väliin. Tässä työssä keskitytään Ricen-mallin signaali-kohinasuhteeseen.

6.4 Linkkibudjetti

Jotta lähetystä voidaan vastaanottaa, on signaalin kentänvoimakkuuden oltava riittävä. Mitä suurempi signaali-kohinasuhde niin sitä paremmin voidaan vastaanottaa signaalia. Linkkibudjettia laskettaessa otetaan huomioon kaikki signaaliin vaikuttavat ilmiöt. Laskuissa tulee käyttää edellä mainittuja C/N-arvoja, vastaanottimen kohinalukua, taajuutta sekä muutamaa muuta vakiota. Toisaalta näköyhteysreittiä pitkin kuljettaessa signaaliin ei vaikuta kovinkaan suuret asiat. Lähinnä linkkien pituus sekä lähettimen teho saattaa aiheuttaa että kentänvoimakkuus ei ole riittävä.

Jotta voidaan sanoa, onnistuuko vastaanotto, on kentänvoimakkuuden ylitettävä vaadittu taso ja tämä taso on saavutettava tietyllä paikkatodennäköisyydellä. Nämä

paikkatodennäköisyydet ovat asetettu hyvään 95 % todennäköisyyteen sekä hyväksyttävään 75 % todennäköisyyteen. [13], [14]

Lähetettäessä laskemaan linkkibudjettia on tiedettävä vastaanottimen kohinaluku sekä taajuus. Oletetaan vastaanottimen kohinaluvuksi $F = 7\text{dB}$. Käytössä on 7,61 MHz:n kaista. Näin ollen kohinatasoksi saadaan -98,2 dBm kaavalla

$$N = 10 \log\left(\frac{kTB}{1\text{mW}}\right) + F \quad (24)$$

Jossa $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ eli Boltzmannin vakio, $T = 290 \text{ K}$ eli referenssilämpötila ja $B =$ käytetty kaistanleveys eli joka on tässä tapauksessa 7,61 MHz. Kohinaan lisätään tämän jälkeen vastaanottimen kohinaluku ja näin saadaan kohinataso selville.

Työssä käytettiin Televesin DAT 45 antennia, jonka vahvistus on 17 dBd, joka on dipoliin verrattu vahvistus. Taajuudet ovat 538 MHz, 714 MHz ja 786 MHz. Antennin vahvistus on taajuusriippuvainen eli se vaihtelee eri taajuuksilla. Laskuissa käytetään dBi muotoa, joka on verrattuna isotrooppiseen antenniin. dBd:stä saadaan dBi muotoinen, kun siihen lisätään 2.15 dB.

Taulukko 5. Vahvistus työssä käytetyillä taajuuksilla.

F(MHz)	Gain(dBd)	Gain(dBi)
538	13,2	15,35
714	15,4	17,55
786	16,5	18,65

Vastaanotto on kanavamalliltaan Ricean tyyppinen. Taulukossa 4 on esitetty vaadittava C/N eri modulaatioille ja koodinopeuksille. Tässä työssä käytettiin 2 eri moodia, jotka mainittiin kappaleessa 6.3. Lasketaan molemmille moodeille vastaanottimen herkkyys edellä mainituilla taajuuksilla.

$$P_{\min}(\text{dBm}) = N + C / N \quad (25)$$

$$E_{\min}(\text{dB}\mu\text{V} / \text{m}) = P_{\min}(\text{dBm}) - \text{Gain}(\text{dBi}) + 77,2 + 20 \log F(\text{MHz}) \quad (26)$$

Jossa C/N on taulukosta 4 otetut arvot käytetyille moodeille. N eli kohinataso on edellä laskettu -98,2 dBm. Gain on jokaisen eri taajuuden oma vahvistus dBi muodossa.

Taulukko 6. Minimikentänvoimakkuudet moodeille. Käytössä on Ricean kanava.

F(MHz) / moodi	C/N(dBm)	P _{min} (dBm)	E _{min} (dBμV/m)
538 / 1.	9,8	-88,4	28,1
714 / 2.	17,3	-80,9	35,8
786 / 2.	17,3	-80,9	35,6

6.5 Fresnel

Luvussa 3.3 käsiteltiin Fresnelin vyöhykettä. Seuraavassa on laskettu työssä käytettyjen taajuuksien Fresnelin ellipsoidin säteen pituus keskeltä kaavalla 5. r_0 on lähetys ja vastaanottimen välinen etäisyys ~8300m

Taulukko 7. Fresnelin ellipsoidin säteen pituus keskeltä

F (MHz)	h_f , max (m)
538	34
714	29,5
786	28

Näin saadaan selville, kuinka paljon eri taajuudet tarvitsevat tyhjää tilaa edetäkseen vapaassa tilassa. Esim. kerrostalojen välissä tulisi olla tyhjää tilaa melkein 60 m:ä jos halutaan edetä tyhjässä tilassa 786 MHz:n taajuudella.

7 MITTAUKSET

Työssä mitattiin DVB-T lähetyksiä eli maanpäällistä digitaalista televisiolähetystä. Mittauksia tehtiin koko vuoden 2010 aikana. Lähetysantenni sijaitsi Kuusiston antennimastossa, joka on n. 300 m korkea. Vastaanottoantenni ICT-talon katolla on n. 30 m:n korkeudessa. Vastaanottoantenni on suunnattu Kuusistoon päin. Lähetys- ja vastaanottoantennin välille tulee etäisyydeksi noin 8 300 m.(Kuvat 13 ja 14) Mittauksia tehtiin 6:lla eri taajuudella ja 2:lla eri vastaanottoantennilla. Taajuudet olivat

- 538 MHz, entinen kanavanippu C, nykyinen D eli mobiiliverkko (DVB-H). (Vaihdettu huhtikuussa 2008)
- 610 MHz, Turun alueen testiverkko
- 714 MHz, kanavanippu A, YLE:n lähetykset sijaitsevat tässä nipussa
- 738 MHz, kanavanippu B, mainoskanavat sijaitsevat tässä nipussa
- 762 MHz, kanavanippu C
- 786 MHz, kanavanippu E.

Analysoinnissa käytettiin vain alinta kanavanippua (538 MHz), YLE:n kanavanippua (714 MHz) sekä kanavanippua E (786 MHz). Näin saadaan hyvä läpileikkaus DVB-T-alueen taajuuksista.

Antenneina toimivat log-periodinen antenni sekä Televesin UHF DAT 45 antenni (liite 1). Mittauksissa huomioitiin ainoastaan Televesin vastaanottamat tehot, koska log-periodinen antenni oli kääntynyt huomaamatta joko tuulen voimasta tai jostain muusta syystä. Täten se ei ollut enää suunnattuna kohti Kuusistoa eikä mittaustuloksiin voinut enää luottaa. Televesin antenni vastaanottaa vaakapolarisaatiolla ja Kuusiston antennin lähettää vaakapolarisaatiolla. Vaakapolarisaatio heijastuu paremmin maasta.

Antennit sekä muut mittausjärjestelmät ovat projekti-insinööri Juhani Hallion asentamia.



Kuva 13. Välimatka Kuusistosta ICT-talolle.

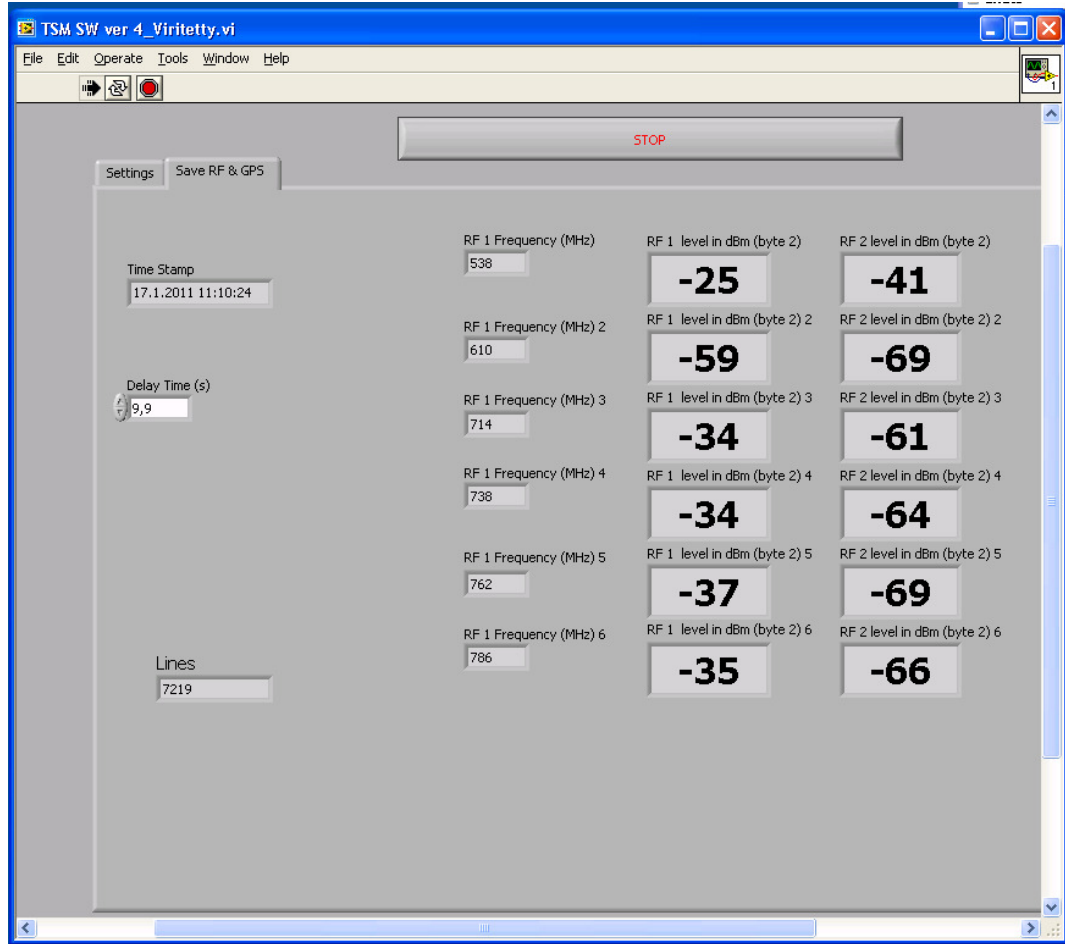


Kuva 14. Vastaanottoantenni suunnattuna Kuusistoon päin. (Kuva J. Hallio)

7.1 Mittausjärjestelmä

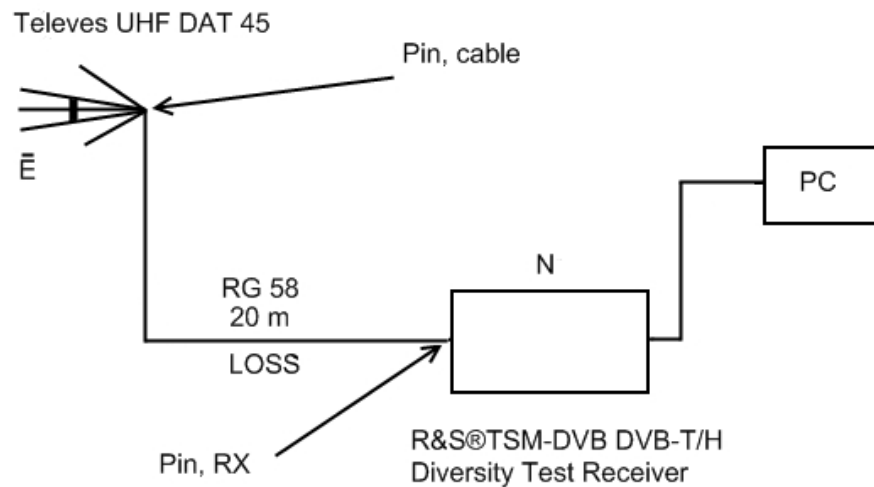
Vastaanottolaitteisto oli toiminnaltaan automaattinen.(Kuva 16.) Laitteistoon kuului log-periodinen antenni ja Televesin UHF DAT 45 vastaanottoantenni. Analysoinnissa käytettiin pelkästään Televesin antennia. Antenni on suunniteltu vastaanottamaan digitaalista maanpäällistä televisiolähetystä. Sillä on valmiudet vastaanottaa myös HDTV (High-Definition Television) laatuista lähetystä. Antennin taajuuskohtaiset vahvistukset sekä suuntakuvio on esitetty liitteessä 1.

Spektrianalysaattorina tässä työssä käytettiin Rohde & Schwarzin DVB-T-testivastaanotin (liite 2). Testivastaanotinta ohjattiin LabView-ohjelmistolla.(Kuva 15.) Vastaanotin mittasi 6:lta eri taajuudelta 2:lla eri antennilla 1 min:n välein. Laitteisto luki yhden taajuuden vastaanotetun tehon 2:lla antennilla 1 ms:n ajan. Vastaanottimen luettua taajuuden, se vaihtoi seuraavaan. Tämän jälkeen se odotti 9,9 s, kunnes se taas luki uuden taajuuden vastaanotetun tehon. Näin kaikki 6 taajuutta pystyttiin lukemaan 1 min:n aikana. Data tallennettiin yhtenä tilannekuvana.



Kuva 15. Kuva LabView-järjestelmästä. Kuvassa RF 1 edustaa log-periodista antennia ja RF 2 Televesin antennia.

Mittausdata tallentui Excel-taulukkona tietokoneelle automaattisesti. Mittausdataa oli vuoden ajalta joka 1 min:n välein 6:lta eri taajuudelta sekä 2:lla eri antennilla mitattuna. Laitteistoa ei siis tarvinnut ylläpitää koko aikaa, vaan sen annettiin pyöriä taustalla. Toisaalta laitteistoa sekä mittausohjelmaa tarkkailtiin silloin tällöin, siltä varalta ettei ohjelma tai lähetys ollut kaatunut ja täten mittaus tulokset eivät olisi paikkaansa pitäviä. Muutama kerran näitä tapauksia tapahtui, jolloin joko mittausohjelma tai lähetys oli kaatunut. Nämä tapaukset on otettu pois mittaus tulosten analysoinnista.

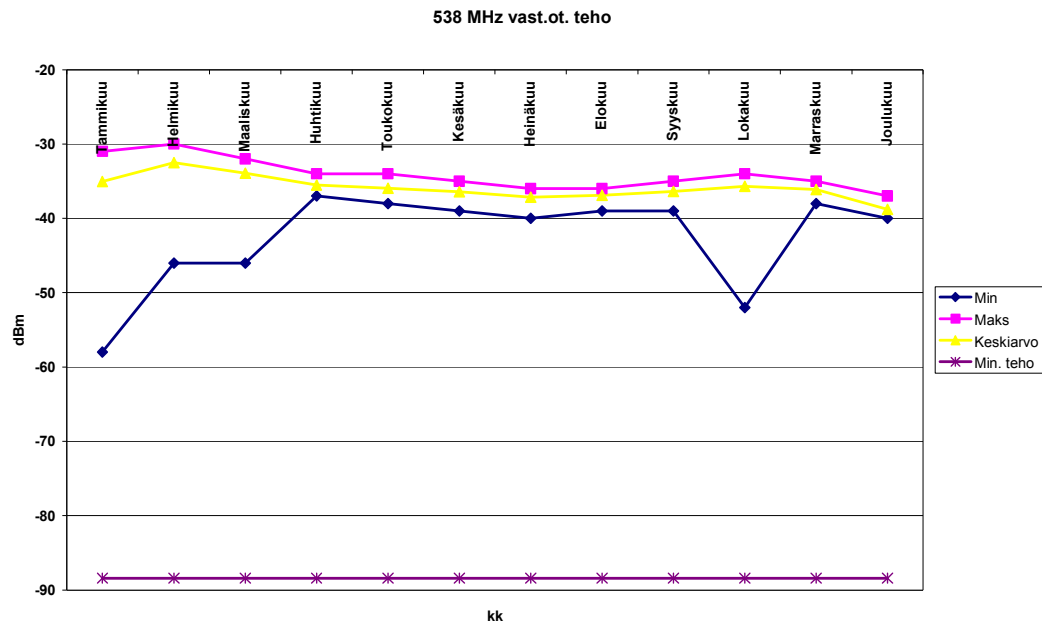


Kuva 16. Lohkokaavio mittausjärjestelmästä.

7.2 Vastaanotettu teho kuukauden aikana

Mittausdatan määrän ollessa valtavan suuri alettiin suunnitella miten, data saataisiin mahdollisimman järkevään muotoon. Datan tulisi olla helposti luettavaa sekä analysoitavaa. Mittausdataa oli tallennettu minuutin välein joka kuukaudelta 12 kuukauden ajan, joten mittaustuloksia tulisi yli 500 000 taajuutta kohden. Näitä tuloksia olisi erittäin vaikea lähteä tutkimaan yksitellen. Näin ollen mittaustulokset jaettiin kuukausiin. Mittaustuloksista otettiin minimi- sekä maksimiarvot ja mittaustulosten keskiarvot sekä keskihajonta huomioiden kaikki kuukauden aikana vastaanotetut mittaustulokset. Näin saatiin helposti käsitys siitä, miten teho on muuttunut kuukausittain. Mittaustuloksista on jätetty huomioimatta selkeät virheet eli lähinnä sellaiset, missä joko lähetys tai vastaanotto on kaatunut taikka ollut pois päältä.

Ensiksi keskityttiin pelkästään tehon (dBm) analysointiin sekä mittaustulosten muokkaamiseen erilaisiin kaavioihin. Kaavioksi valittiin viivakaavio sen helppolukuisuuden vuoksi. Siinä pystyttiin erittelemään helposti minimi-, maksimi ja keskiarvo yhteen kaavioon. Keskiarvosta sekä keskihajonnasta tehtiin myös erilliset kaaviot, koska niitä toisiinsa vertaamalla saatiin hyvä käsitys tehon muutoksista kuukausittain ilman minimi- ja maksimiarvoa. Kuvissa on myös mukana minimi teho, taikka kentänvoimakkuus, jolloin kuva saadaan vielä vastaanotettua.

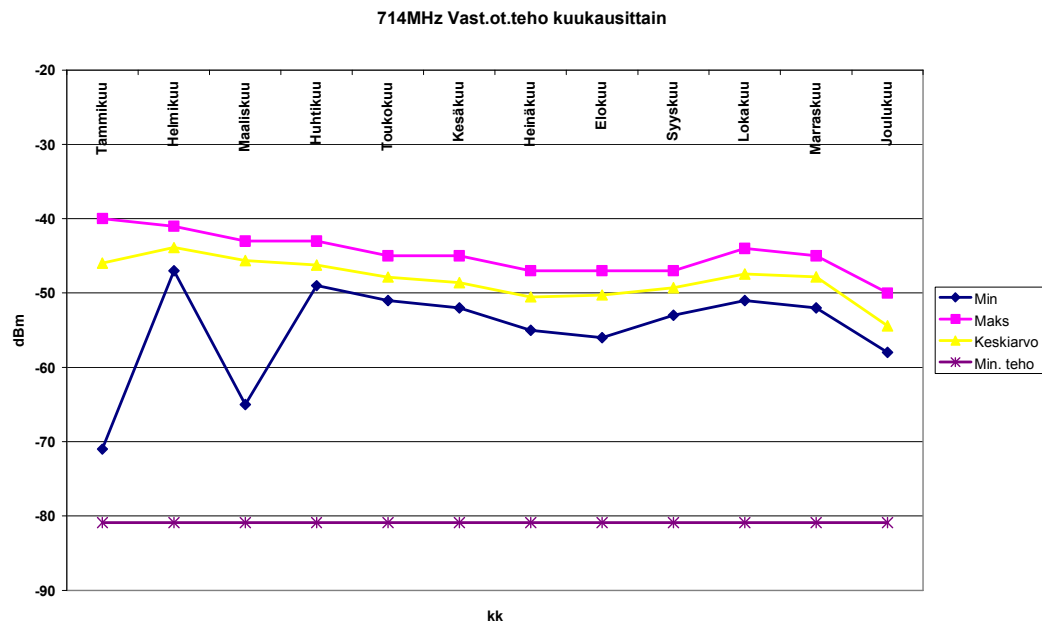


Kuva 17. 538 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho kuukausittain vuoden ajalta.

Kuvasta 17 huomataan, että alkuvuoden teho n. 58 – 46 dBm on käynyt suhteellisen alhaalla verrattuna muihin kuukausiin. Toisaalta alkuvuoden maksimiarvotkin ovat suurempia kuin loppuvuoden arvot. Lokakuussakin on huomattava tehon lasku n. 52 dBm. Data ei paljasta, mistä notkahdukset johtuvat, joten voi olettaa, että notkahdukset on aiheuttanut jokin muu ulkoinen tekijä. Taulukosta 8 nähdään tarkat tehon arvot.

Taulukko 8. Vastaanotettu teho kuukausittain 538 MHz:n taajuudella.

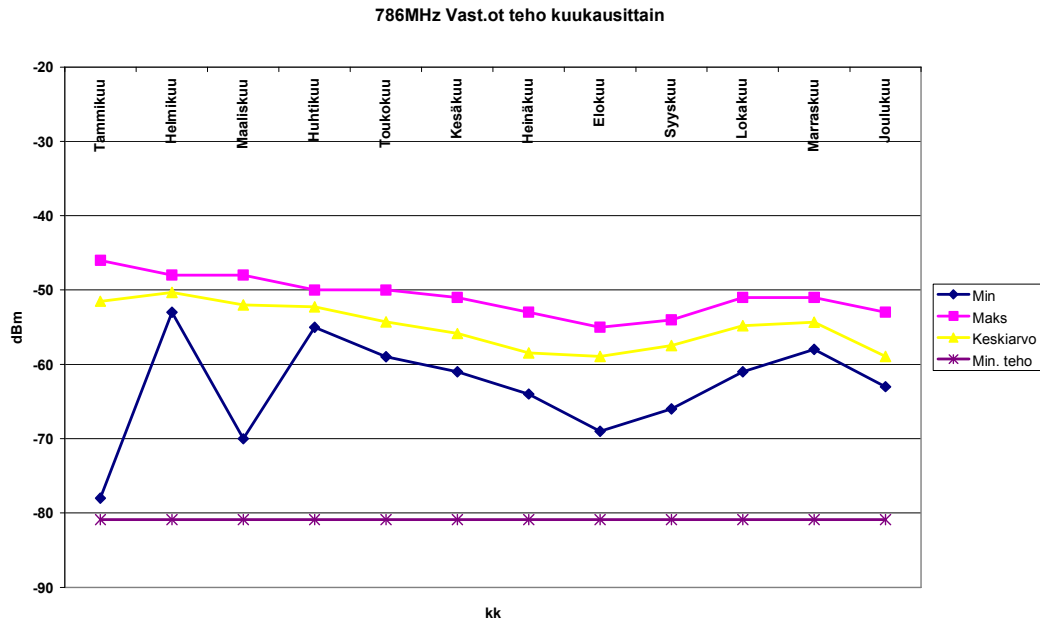
Min(dBm)	Maks(dBm)	Keskiarvo(dBm)	Minimi teho(dBm)
-58	-31	-35,04119716	-88,4
-46	-30	-32,47806985	-88,4
-46	-32	-33,9355228	-88,4
-37	-34	-35,51444081	-88,4
-38	-34	-35,9397377	-88,4
-39	-35	-36,41963582	-88,4
-40	-36	-37,13057619	-88,4
-39	-36	-36,90646577	-88,4
-39	-35	-36,37009753	-88,4
-52	-34	-35,69041077	-88,4
-38	-35	-36,13011047	-88,4
-40	-37	-38,79127041	-88,4



Kuva 18. 714 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho kuukausittain vuoden ajalta.

Taulukko 9. Vastaanotettu teho kuukausittain 714 MHz:n taajuudella.

	Min(dBm)	Maks(dBm)	Keskiarvo(dBm)	Minimi teho(dBm)
Tammikuu	-71	-40	-45,98971561	-80,9
Helmikuu	-47	-41	-43,88624122	-80,9
Maaliskuu	-65	-43	-45,63288848	-80,9
Huhtikuu	-49	-43	-46,21097605	-80,9
Toukokuu	-51	-45	-47,84073534	-80,9
Kesäkuu	-52	-45	-48,59287402	-80,9
Heinäkuu	-55	-47	-50,50441726	-80,9
Elokuu	-56	-47	-50,25740466	-80,9
Syyskuu	-53	-47	-49,29985869	-80,9
Lokakuu	-51	-44	-47,45168126	-80,9
Marraskuu	-52	-45	-47,83594561	-80,9
Joulukuu	-58	-50	-54,41620312	-80,9



Kuva 19. 786 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho kuukausittain vuoden ajalta.

Taulukko 10. Vastaanotettu teho kuukausittain 714 MHz:n taajuudella.

	Min(dBm)	Maks(dBm)	Keskiarvo(dBm)	Minimi teho(dBm)
Tammikuu	-78	-46	-51,50751207	-80,9
Helmikuu	-53	-48	-50,33507087	-80,9
Maaliskuu	-70	-48	-52,00765928	-80,9
Huhtikuu	-55	-50	-52,25154537	-80,9
Toukokuu	-59	-50	-54,26633785	-80,9
Kesäkuu	-61	-51	-55,85337997	-80,9
Heinäkuu	-64	-53	-58,44502694	-80,9
Elokuu	-69	-55	-58,91995225	-80,9
Syyskuu	-66	-54	-57,46827438	-80,9
Lokakuu	-61	-51	-54,80239382	-80,9
Marraskuu	-58	-51	-54,33146067	-80,9
Joulukuu	-63	-53	-58,95076709	-80,9

Kuvasta 18 ja 19 huomataan, että tammikuussa ja maaliskuussa on selkeät tehon laskut. Tammikuun muutoksen syy löytyi mittausdatasta. Data paljastaa BER:n (Bit Error Rate) olleen todella suuri erässä kohtaa tammikuuta. BER kertoo nimensä mukaisesti, että kuinka monta bittiä yhdessä läheteessä on väärin. BER muodostuu esim. heijastumisien taikka siroilun vaikutuksesta. Maaliskuun notkahdusta ei löydy datasta. Muuten kaikki 3 kuvaajaa 17, 18 ja 19 ovat suhteellisen samantapaiset. Muutokset ovat kuukausittain samanlaisia, esim. helmikuussa on keskiarvo suurimmillaan kun taas helmi-elokuussa kuvaaja notkahtaa. Loppuvuodesta taas

vastaanotetun tehon keskiarvo laskee. Tästä huomataan, että vastaanotetun tehon keskiarvo ei ole sama eri taajuuksilla mutta käyttäytyminen on kutakuinkin samantapaista. Keskiarvo on suurempi pienemmällä taajuudella kuin suuremmalla vaikka Televesin antenni vahvisti enemmän suuremmilla taajuuksilla, kuten taulukosta 5 tulee toteen. 714 MHz:n ja 786 MHz:n tarkat tehon arvot löytyvät taulukoista 9 ja 10.

7.3 Vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukauden aikana

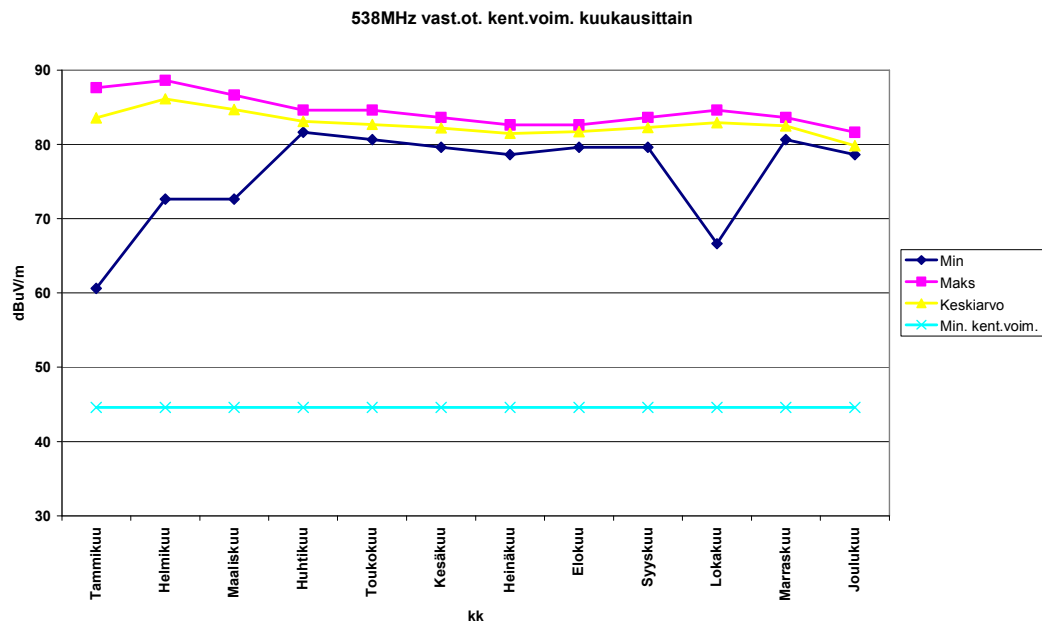
Tässä luvussa keskitytään vastaanotettuihin kentänvoimakkuuksiin. Kentänvoimakkuudet on laskettu vastaanotetusta tehosta, sillä testivastaanotin tallensi datan dBm:nä. Muuten menetelmä on sama kuin luvussa 7.2 eli koko kuukauden data on huomioitu ja siitä on otettu minimiarvo, maksimiarvo, keskiarvo (Kuvat 20, 21, 22) ja keskihajonta (Kuva 24.).

Kentänvoimakkuuksiksi tehot muutettiin kaavalla

$$E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) = P_{\text{RX}}(\text{dBm}) - G_{\text{RX}}(\text{dBi}) + 77,2 + 20\log F(\text{MHz}) \quad (27)$$

jossa P_{RX} on vastaavalta kuukaudelta otettu tehon arvo dBm:ssä, G_{RX} on vahvistus tietyllä taajuudella ja F on taajuus

Näin saadaan samanlaisia kuvaajia kentänvoimakkuuksista, kuten saatiin tehosta. Suurena on dBuV/m, jolloin mitataan säteilyosion suuruutta vastaanottoantennin säteilykentässä.

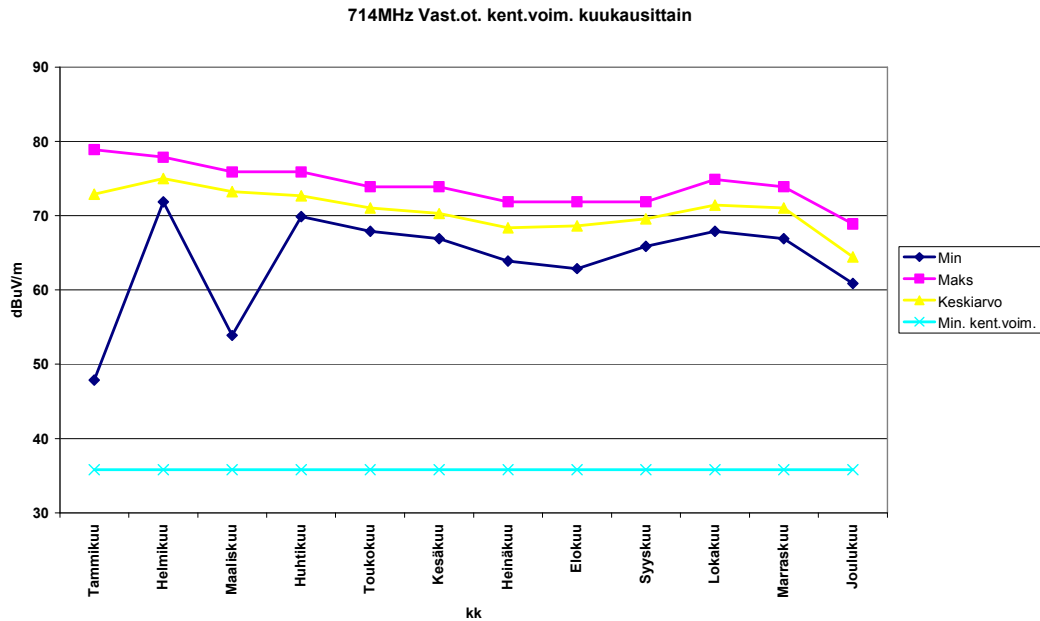


Kuva 20. 538 MHz:n taajuudella vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukausittain vuoden ajalta.

Taulukko 11. Vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukausittain 538 MHz:n taajuudella.

	Min(dBuV/m)	Maks(dBuV/m)	Keskiarvo(dBuV/m)	Min.kent.voim.(dBμV/m)
Tammikuu	60,61564551	87,61564551	83,57444835	28,1
Helmikuu	72,61564551	88,61564551	86,13757566	28,1
Maaliskuu	72,61564551	86,61564551	84,68012271	28,1
Huhtikuu	81,61564551	84,61564551	83,1012047	28,1
Toukokuu	80,61564551	84,61564551	82,67590781	28,1
Kesäkuu	79,61564551	83,61564551	82,19600969	28,1
Heinäkuu	78,61564551	82,61564551	81,48506932	28,1
Elokuu	79,61564551	82,61564551	81,70917974	28,1
Syyskuu	79,61564551	83,61564551	82,24554798	28,1
Lokakuu	66,61564551	84,61564551	82,92523474	28,1
Marraskuu	80,61564551	83,61564551	82,48553504	28,1
Joulukuu	78,61564551	81,61564551	79,8243751	28,1

Kuva 20 on samanlainen kuin kuva 17, koska tulokset on suoraan käännetty dBuV/m:ksi. Tarkat kentänvoimakkuuden arvot näkyvät taulukosta 11.

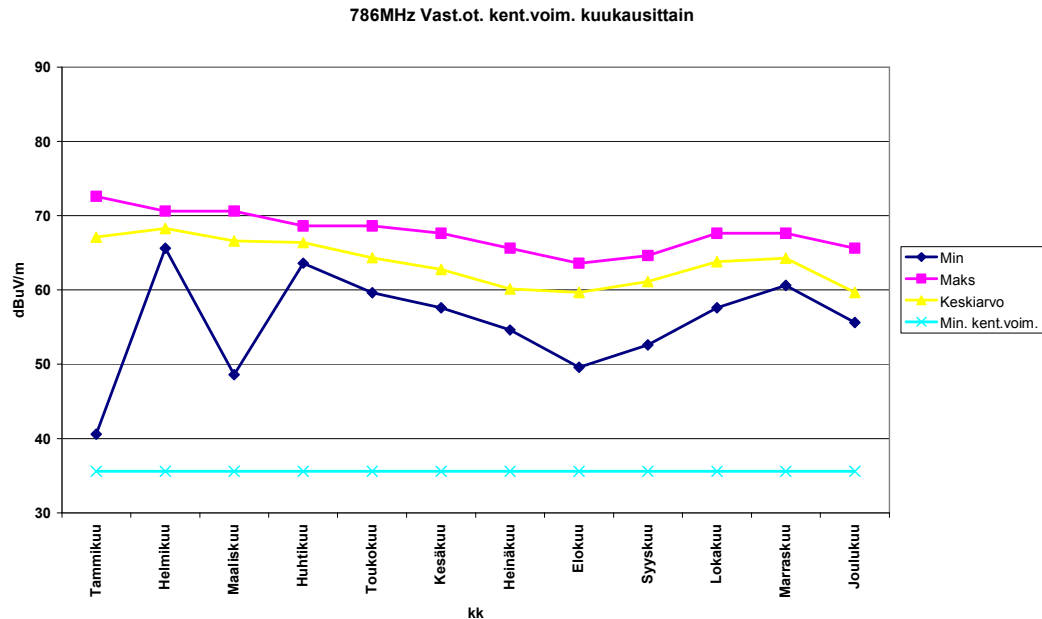


Kuva 21. 714 MHz:n taajuudella vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukausittain vuoden ajalta.

Kuva 21 käyttäytyy samantapaisesti kuin kuva 20. Vastaanotetun kentänvoimakkuuden keskiarvo tippuu vuoden loppua kohden. Kesäkuina on huomattava tiputus. Minimikentänvoimakkuus näkyy kuvissa 20, 21 ja 22 vaaleansinisenä viivana, jossa on rasteja. 714 MHz:n tarkat kentänvoimakkuuden arvot näkyvät taulukossa 12.

Taulukko 12. Vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukausittain 714 MHz:n taajuudella.

	Min(dBuV/m)	Maks(dBuV/m)	Keskiarvo(dBuV/m)	min.kent.voim. (dBuV/m)
Tammikuu	47,87396424	78,87396424	72,88424862	35,8
Helmikuu	71,87396424	77,87396424	74,98772302	35,8
Maaliskuu	53,87396424	75,87396424	73,24107576	35,8
Huhtikuu	69,87396424	75,87396424	72,66298819	35,8
Toukokuu	67,87396424	73,87396424	71,0332289	35,8
Kesäkuu	66,87396424	73,87396424	70,28109022	35,8
Heinäkuu	63,87396424	71,87396424	68,36954698	35,8
Elokuu	62,87396424	71,87396424	68,61655958	35,8
Syyskuu	65,87396424	71,87396424	69,57410555	35,8
Lokakuu	67,87396424	74,87396424	71,42228298	35,8
Marraskuu	66,87396424	73,87396424	71,03801863	35,8
Joulukuu	60,87396424	68,87396424	64,45776112	35,8



Kuva 22. 786 MHz:n taajuudella vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukausittain vuoden ajalta.

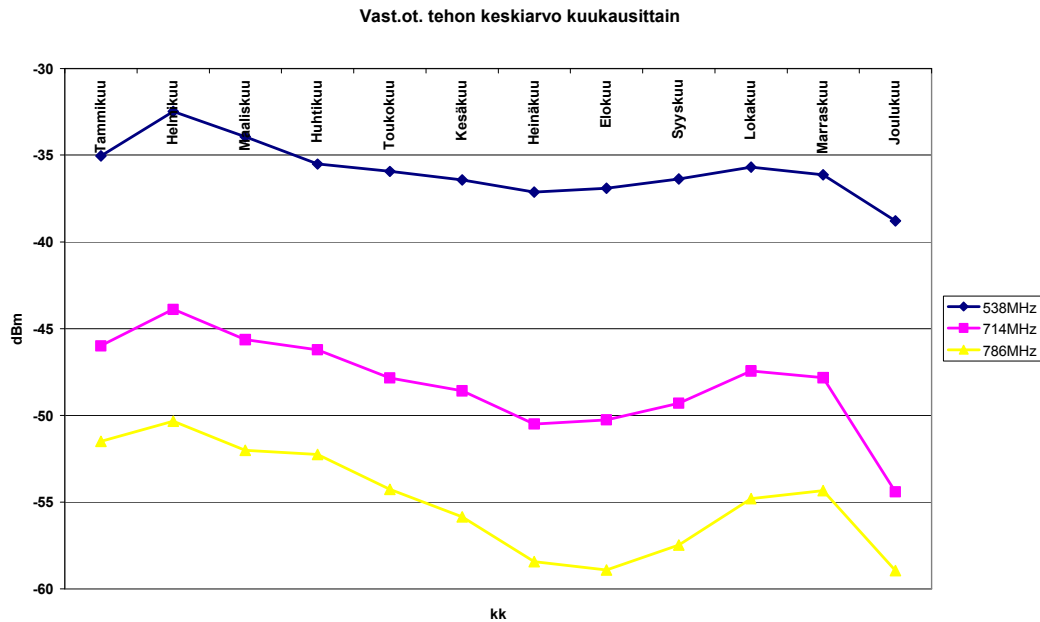
Kuva 22 on samantapainen kuin kuva 20 ja kuva 21. Toisaalta vaihtelut ovat olleet suurempia. Tarkat arvot näkyvät taulukossa 13.

Taulukko 13. Vastaanotettu kentänvoimakkuus kuukausittain 786 MHz:n taajuudella.

	Min(dBuV/m)	Maks(dBuV/m)	Keskiarvo(dBuV/m)	min.kent.voim.(dBuV/m)
Tammikuu	40,6084509	72,60845092	67,10093885	35,6
Helmikuu	65,6084509	70,60845092	68,27338005	35,6
Maaliskuu	48,6084509	70,60845092	66,60079164	35,6
Huhtikuu	63,6084509	68,60845092	66,35690555	35,6
Toukokuu	59,6084509	68,60845092	64,34211307	35,6
Kesäkuu	57,6084509	67,60845092	62,75507095	35,6
Heinäkuu	54,6084509	65,60845092	60,16342398	35,6
Elokuu	49,6084509	63,60845092	59,68849867	35,6
Syyskuu	52,6084509	64,60845092	61,14017654	35,6
Lokakuu	57,6084509	67,60845092	63,8060571	35,6
Marraskuu	60,6084509	67,60845092	64,27699025	35,6
Joulukuu	55,6084509	65,60845092	59,65768383	35,6

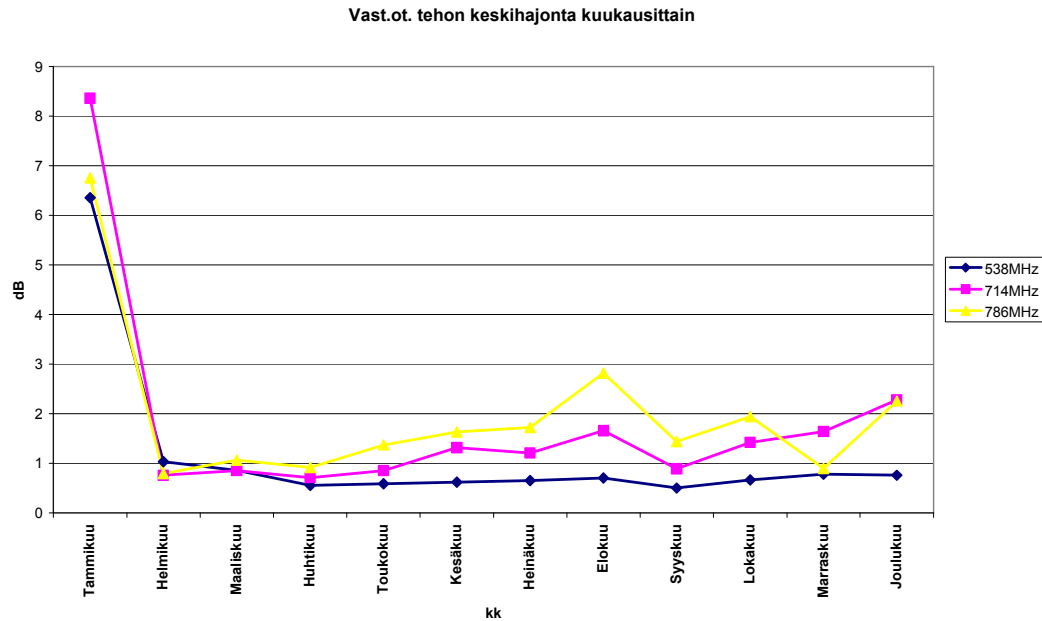
7.4 Vastaanotetun tehon ja kentänvoimakkuuden keskiarvo ja keskihajonta kuukauden aikana

Tässä luvussa käsitellään erikseen vastaanotetun tehon ja kentänvoimakkuuden keskiarvoa sekä keskihajontaa. Näin saadaan hyvä käsitys miten vastaanotettu teho on muuttunut ja millaista vaihtelua sillä on ollut vuoden sisällä.



Kuva 23. Vastaanotetun tehon keskiarvo kuukausittain vuoden ajalta työssä käytetyillä 3:lla taajuudella.

Kuvasta 23 huomataan, miten mittausten 3:n eri taajuuden keskiarvot muuttuvat samantyyllisesti vuoden aikana. Alkuvuodesta vastaanotetun tehon keskiarvo on ollut suurempi kuin muulloin koko vuotena. Kesäkuu, heinäkuu, elokuu ja syyskuu ovat olleet taas heikompia kuukausia ja joulukuussa on selkeä tehon lasku. Kesäkuuden muutokset johtuvat luultavasti kosteudesta. Viime vuoden kesä oli kuuma, joten kosteus on saattanut aiheuttaa tehon notkahduksen. Myös lehdistön kasvu saattaa aiheuttaa notkahduksen. Kuvasta havaitaan hyvin se, että millään yhdellä taajuudella ei ole ollut mitenkään merkittävästi eroavaisuutta muihin. Tämä tarkoittaa sitä, että lähetys sekä vastaanotto on ollut suhteellisen luotettava jokaisen taajuuden suhteen.

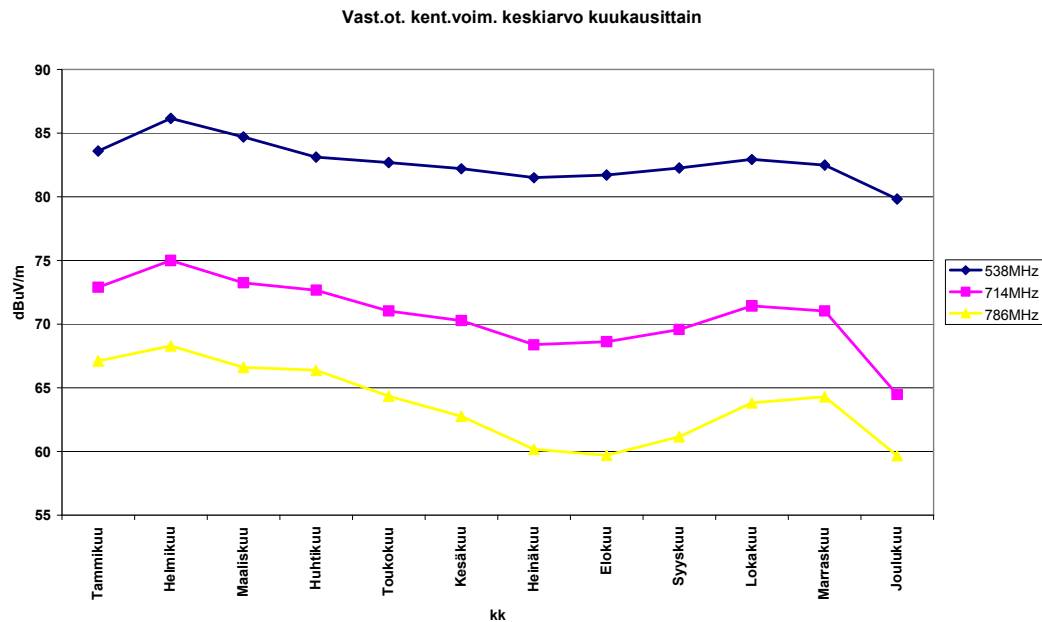


Kuva 24. Vastaanotetun tehon keskihajonta kuukausittain vuoden ajalta työssä käytetyillä 3:lla taajuudella.

Kuvasta 24 huomataan, että keskihajonta on ollut kaikilla 3:lla taajuudella samantyylistä. Alkuvuodesta kaikilla taajuuksilla on selvästi eniten heittoa. Tämä saattaa johtua siitä, että laitteisto on pystytetty tammikuussa ja hajonta on saattanut heitellä paljon alun mittauksissa. Kuvasta huomataan myös, että 538 MHz:n taajuus on ollut loppuvuonna paljon stabiilimpi kuin 714 MHz:n ja 786 MHz:n taajuus. 714 MHz:n ja 786 MHz:n taajuudella vaihtelua on paljon enemmän tietyillä kuukausilla. Heinäkuussa, elokuussa ja syyskuussa vaihtelua on selkeästi enemmän ja se huomattiin jo edellisissä kaavioissa esim. kuvassa 18 ja 19. Niistä näkyi selkeästi tehon keskiarvon tippuminen. Näitä kahta kuvaajaa siis voidaan ehdottomasti rinnastaa toisiinsa kun katsotaan mistä johtuu mahdollinen tehon keskiarvon tippuminen. Taulukosta 14 havaitaan vielä tarkat tehon keskiarvot sekä keskihajonnat.

Taulukko 14. Vastaanotetun tehon keskiarvo ja keskihajonta kuukausittain työssä käytetyillä 3:lla taajuudella.

	Keskiarvo	Keskihajonta		Keskiarvo	Keskihajonta		Keskiarvo	Keskihajonta
538MHz	dBm	dB	714MHz	dBm	dB	786MHz	dBm	dB
Tammikuu	-35,0412	6,35240976	Tammikuu	-45,98972	8,358967295	Tammikuu	-51,50751	6,75493252
Helmikuu	-32,47807	1,02841975	Helmikuu	-43,88624	0,7553224	Helmikuu	-50,33507	0,79387703
Maaliskuu	-33,93552	0,8611322	Maaliskuu	-45,63289	0,851694137	Maaliskuu	-52,00766	1,06360998
Huhtikuu	-35,51444	0,55617342	Huhtikuu	-46,21098	0,706605976	Huhtikuu	-52,25155	0,91336326
Toukokuu	-35,93974	0,58701641	Toukokuu	-47,84074	0,85171526	Toukokuu	-54,26634	1,36844988
Kesäkuu	-36,41964	0,61693008	Kesäkuu	-48,59287	1,310934404	Kesäkuu	-55,85338	1,62991439
Heinäkuu	-37,13058	0,65041206	Heinäkuu	-50,50442	1,204947771	Heinäkuu	-58,44503	1,71987968
Elokuu	-36,90647	0,70085852	Elokuu	-50,2574	1,655193228	Elokuu	-58,91995	2,82069596
Syyskuu	-36,3701	0,49762727	Syyskuu	-49,29986	0,888421732	Syyskuu	-57,46827	1,43936668
Lokakuu	-35,69041	0,66409844	Lokakuu	-47,45168	1,417139362	Lokakuu	-54,80239	1,94229634
Marraskuu	-36,13011	0,77695533	Marraskuu	-47,83595	1,637019956	Marraskuu	-54,33146	0,8934664
Joulukuu	-38,79127	0,75618946	Joulukuu	-54,4162	2,279373582	Joulukuu	-58,95077	2,25195055



Kuva 25. Vastaanotetun kentänvoimakkuuden keskiarvo kuukausittain vuoden ajalta työssä käytetyillä 3:lla taajuudella.

Kuvassa 25 havaitaan sama ilmiö kuin kuvassa 24 suure on vain muuttunut. Taulukossa 15 on tarkat kentänvoimakkuuden keskiarvot.

Taulukko 15. Vastaanotetun kentänvoimakkuuden keskiarvo kuukausittain vuoden ajalta työssä käytetyillä 3:lla taajuudella.

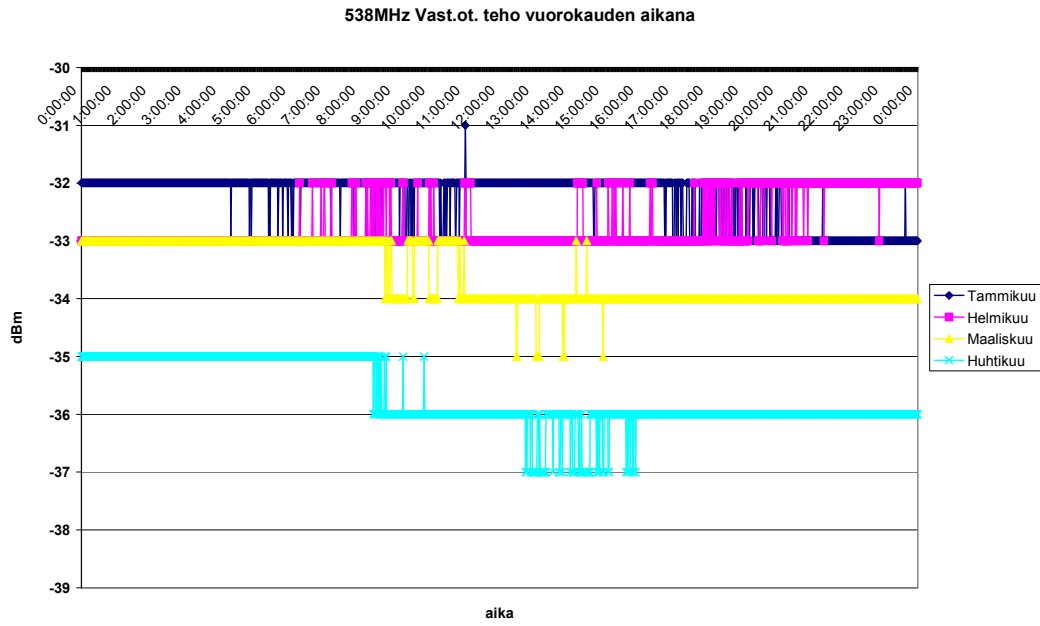
	Keskiarvo	min.kent.voim		Keskiarvo	min.kent.voim		Keskiarvo	min.kent.voim
538MHz	dB μ V/m	dB μ V/m	714MHz	dB μ V/m	dB μ V/m	786MHz	dB μ V/m	dB μ V/m
Tammikuu	83,57445	28,1	Tammikuu	72,88425	35,8	Tammikuu	67,10094	35,6
Helmikuu	86,13758	28,1	Helmikuu	74,98772	35,8	Helmikuu	68,27338	35,6
Maaliskuu	84,68012	28,1	Maaliskuu	73,24108	35,8	Maaliskuu	66,60079	35,6
Huhtikuu	83,1012	28,1	Huhtikuu	72,66299	35,8	Huhtikuu	66,35691	35,6
Toukokuu	82,67591	28,1	Toukokuu	71,03323	35,8	Toukokuu	64,34211	35,6
Kesäkuu	82,19601	28,1	Kesäkuu	70,28109	35,8	Kesäkuu	62,75507	35,6
Heinäkuu	81,48507	28,1	Heinäkuu	68,36955	35,8	Heinäkuu	60,16342	35,6
Elokuu	81,70918	28,1	Elokuu	68,61656	35,8	Elokuu	59,6885	35,6
Syyskuu	82,24555	28,1	Syyskuu	69,57411	35,8	Syyskuu	61,14018	35,6
Lokakuu	82,92523	28,1	Lokakuu	71,42228	35,8	Lokakuu	63,80606	35,6
Marraskuu	82,48554	28,1	Marraskuu	71,03802	35,8	Marraskuu	64,27699	35,6
Joulukuu	79,82438	28,1	Joulukuu	64,45776	35,8	Joulukuu	59,65768	35,6

7.5 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana

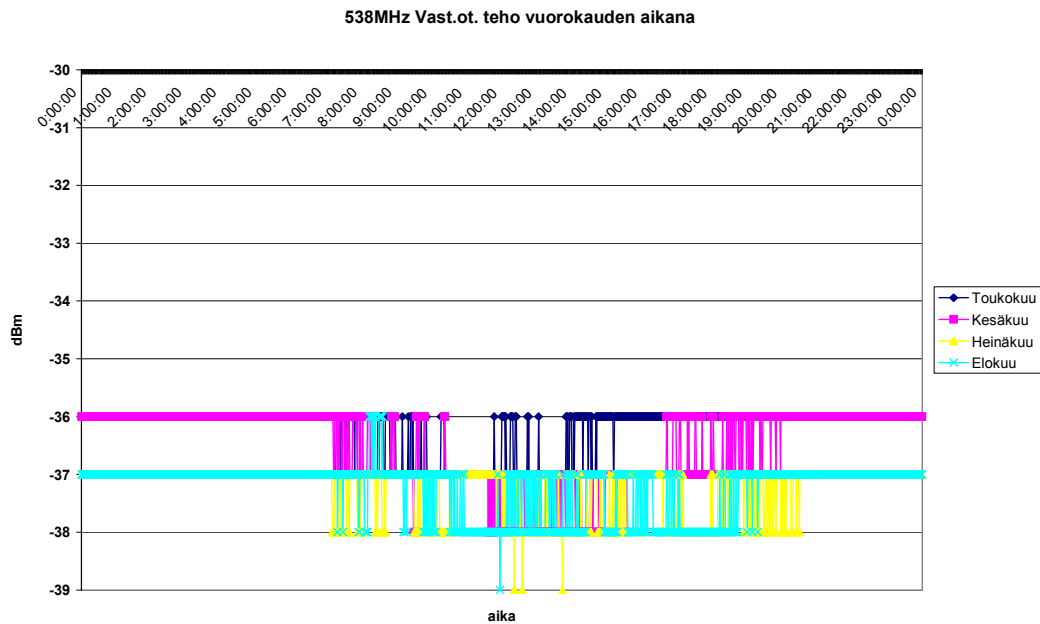
Tässä luvussa käsitellään vuorokauden aikana syntyneitä muutosta kuukausittain koko vuoden ajalta. Mittausdatasta otettiin joka kuukauden toisen keskiviikon mittausdata 24 tunnilta. Keskiviikko valittiin siksi, koska ihmiset kulkevat autoilla töihin ja tämä saattaa aiheuttaa muutoksia tehossa. Tuloksia pystyttäisiin vertailemaan näin paremmin keskenään. Jos päivä olisi ollut vaikka kuukauden 1.päivä, silloin viikonpäiväkin olisi muuttunut kuukausittain eikä tuloksia pystyttäisi rinnastamaan toisiinsa. Mittaustuloksia tutkittiin lähes samalla tavalla kuin edellisissä luvuissa. Vuorokauden ajalta tutkittiin kaikki mittaustulokset eli 1 440 mittaustulosta ja näistä tehtiin samankaltaiset viivakaaviot kuin edellisissä luvuissa. Koska kuukausia on 12 ja yhdestä vuorokaudesta kuukaudessa tulee 1 440 mittaustulosta, niin näin ollen viivakaaviosta tulisi todella sekava jos kaikki 12:sta kuukauden yhden päivän mittaustulokset olisivat samassa kaaviossa. Tämän vuoksi päätettiin erotella kuukaudet 3:n eri viivakaavioon: alkuvuoteen, kesäkuukausiin ja loppuvuoteen. Jokaisessa viivakaaviossa olisi siis 4:n vuorokauden mittausdatat.

7.5.1 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana 538 MHz:n taajuudella

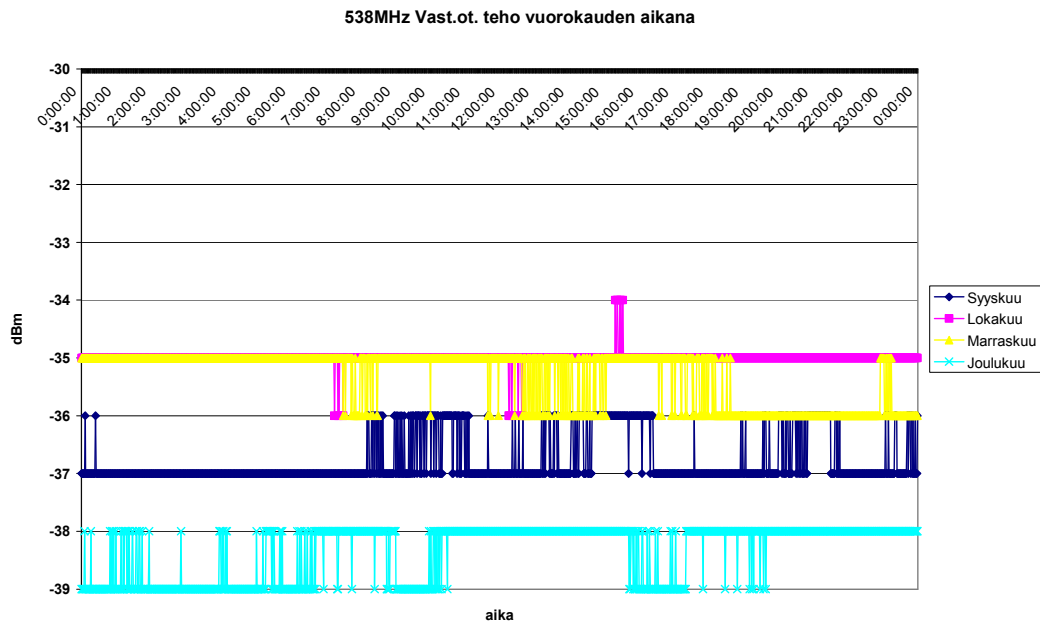
Tässä luvussa esitetään 538 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana. (Kuvat 26, 27, 28)



Kuva 26. 538 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuulta.



Kuva 27. 538 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana touko-, kesä-, heinä- ja elokuulta.

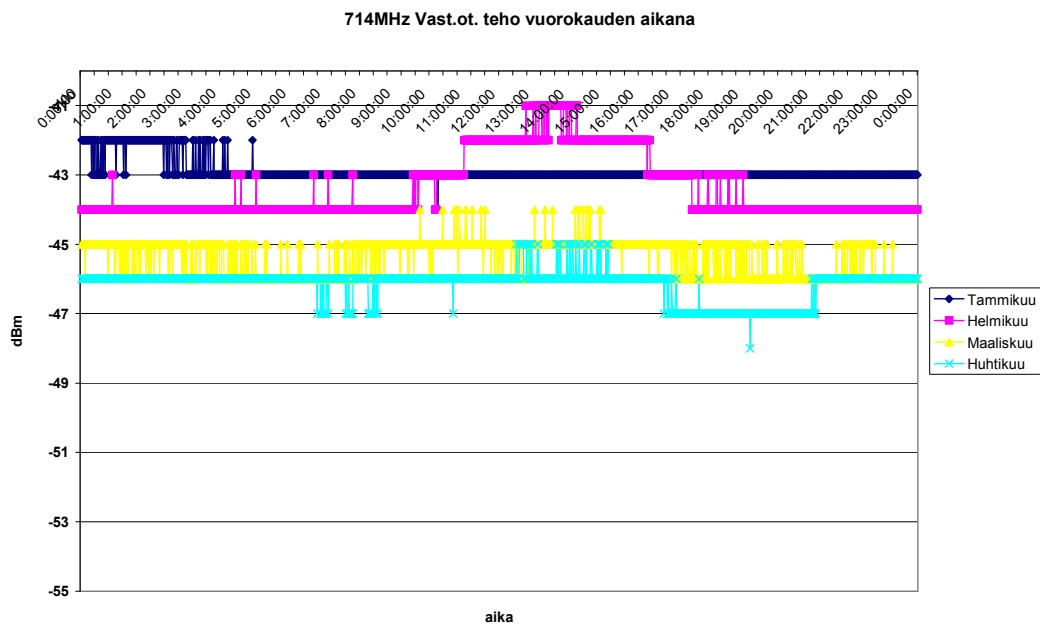


Kuva 28. 538 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana syys-, loka-, marras- ja joulukuulta.

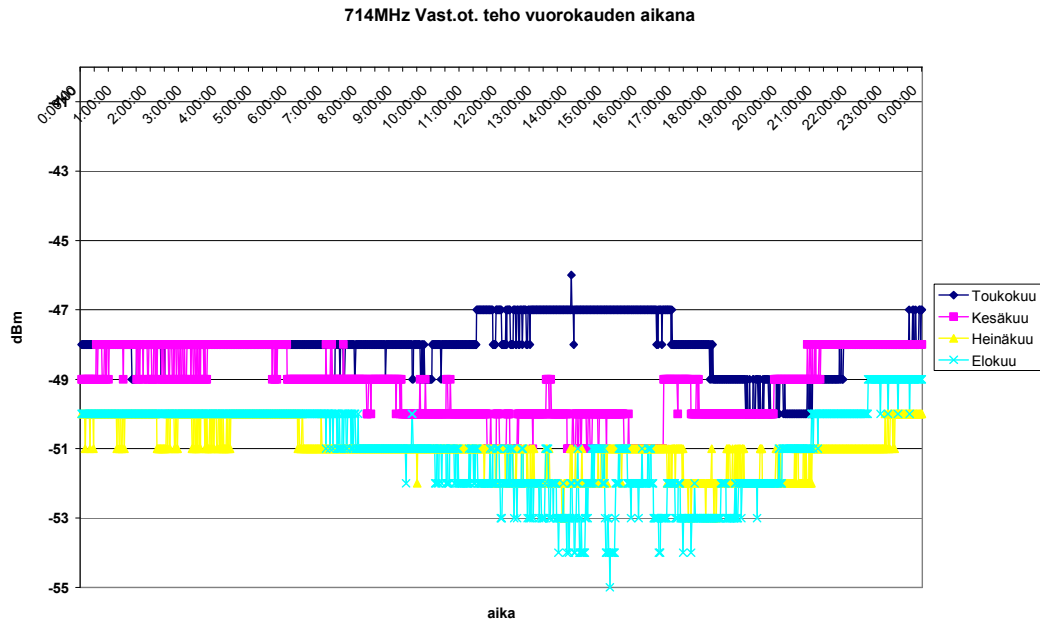
Kuvissa 26, 27 ja 28 tehon heittelyä ei ole kovinkaan paljon (± 1 dBm), mutta yhteinen tekijä löytyy. Yhteneväisyys löytyy monen kuukauden osalta kellonajasta, sillä n. kello 8.00 tai hieman aikaisemmin teho alkaa heittelehtiä joko $+ 1$ dBm:llä taikka $- 1$ dBm:llä. Kello 21.00 jälkeen tehon heittely taas katoaa ja pysyy stabiilina klo 24.00 asti. Tähän löytyy selitys luultavasti työajoista. Ihmiset lähtevät autoillaan töihin n. klo 8.00 ja näin autojen katoista tulee mahdollisesti heijastuksia, joka huomataan tehon heittelyssä. Myös toinen syy voi olla auringon nousu sekä sen myötä lämpötilan muutos. Selkeät havainnot voidaan tehdä kuvista 26 ja 27.

7.5.2 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana 714 MHz:n taajuudella

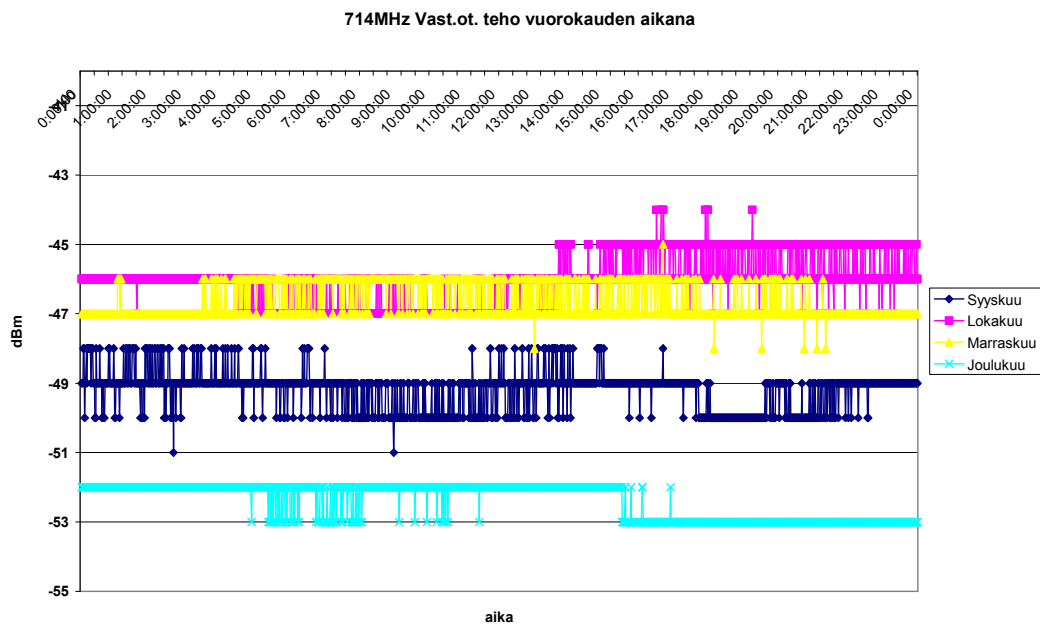
Tässä luvussa esitetään 714 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana. (Kuvat 29, 30, 31)



Kuva 29. 714 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuulta.



Kuva 30. 714 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana touko-, kesä-, heinä- ja elokuulta

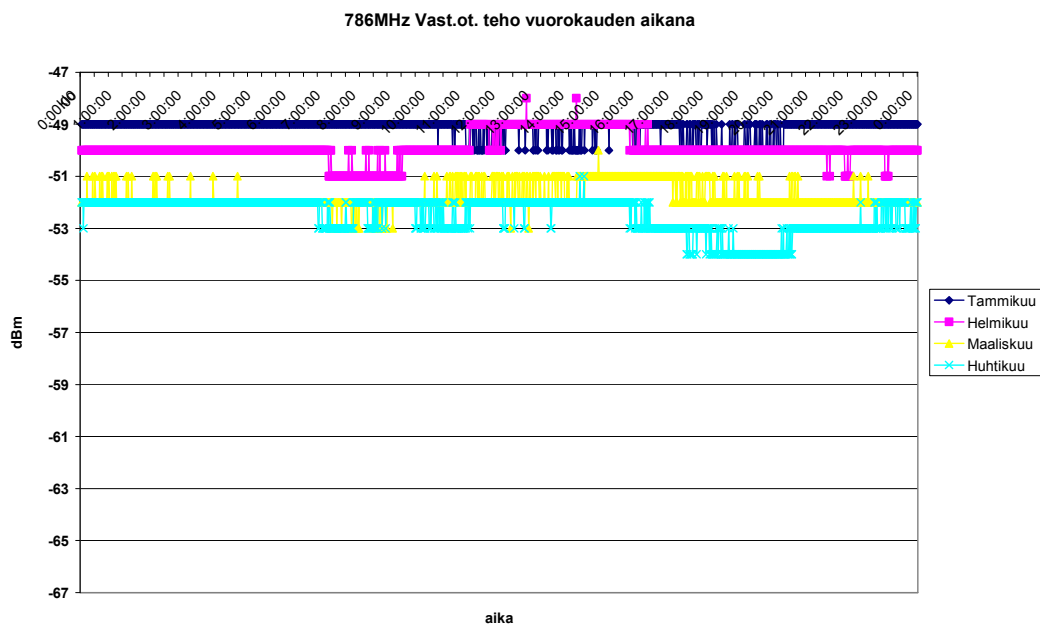


Kuva 31. 714 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana syys-, loka-, marras- ja joulukuulta.

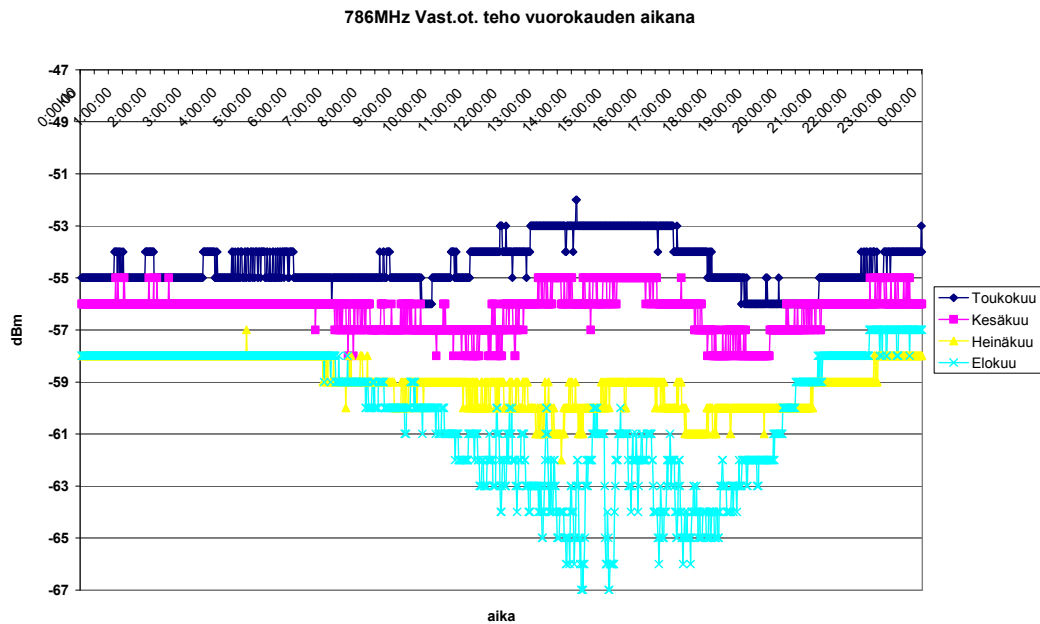
714 MHz:n taajuudella vuorokauden ajan tehon vaihtelut ovat erilaisia kuin 538 MHz:n taajuudella. Osassa, varsinkin alkuvuonna (Kuva 29.) on samanlaista muutosta kuin 538 MHz:ssä eli aamulla sekä illalla ei ole muutoksia tehossa. Keskikohtaa vuotta tehon vaihtelua havaitaan enemmän ja loppuvuodesta (Kuva 31.) vaihtelu taas hieman stabiloituu kesästä. Mielenkiintoisin tehon vaihtelu on kuvassa 30, jossa teho muuttuu yllättävänkin paljon klo 8.00–22.00. Tehon lasku elokuussa on pahimmillaan jopa 5 dB. Mittausdatasta ilmenee, että teho tippuu elokuussa melkein joka päivä samaan aikaan n. 5 dB eli kyseessä on toistuva ilmiö. Kyseessä voi olla jokin kesän olosuhteisiin liittyvä ilmiö tai sitten jokin muu, sillä kosteus ja lämpötilan nousu vaikuttaa olennaisesti radiotiehen sekä tehon muutoksiin.

7.5.3 Vastaanotettu teho vuorokauden aikana 786 MHz:n taajuudella

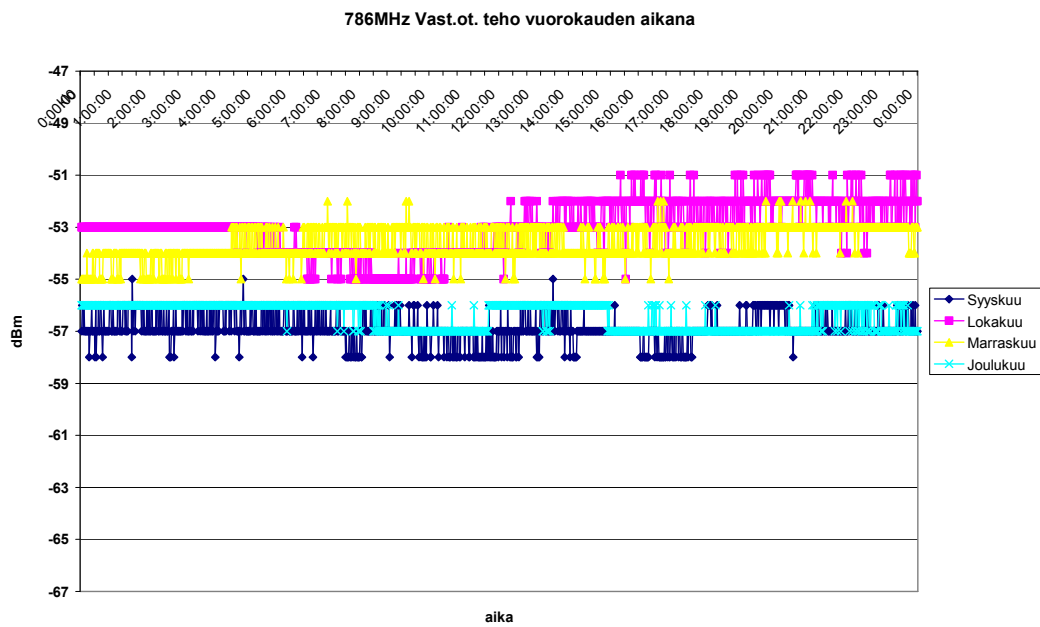
Tässä luvussa esitetään 786 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana. (Kuvat 32, 33, 34)



Kuva 32. 786 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuulta.



Kuva 33. 786 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana touko-, kesä-, heinä- ja elokuulta.

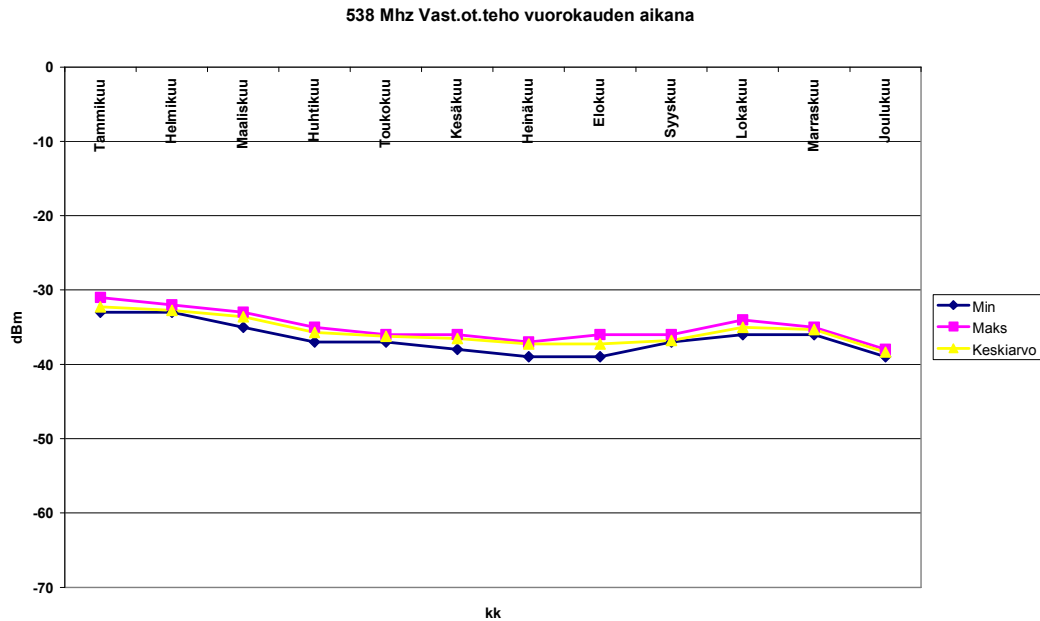


Kuva 34. 786 MHz:n taajuudella vastaanotettu teho vuorokauden aikana syys-, loka-, marras- ja joulukuulta.

786 MHz:ssä käy kesäkuukausina (Kuva 33.) samoin kuin 714 MHz:ssä (Kuva 30.). Pahimmillaan teho heikkenee jopa 9 dB. Tämäkin on mittausdatan mukaan toistuvaa melkein jokaisen elokuun päivän. Teho tippuu vain päiväsaikaan ja n. klo 17.00 se on yleensä pahimmillaan. Illalla teho taas nousee. Sääilmiöt alkavat jo vaikuttaa näin korkeilla taajuuksilla ja kesän suuret lämpötilan vaihtelut saattavat aiheuttaa tehon heittelyn. Muilla kuukausilla tehon käyttäytyminen on melko pientä. Vaihtelua on kuukaudesta riippuen noin 1-3 dB:ä. Alkuvuodesta teho käyttäytyy melkein samantyyllisesti kuin edellisillä taajuuksilla, eli aamu ja ilta ovat aika stabiilia. Keskikohtaa vuotta tehon vaihtelua havaitaan enemmän ja loppuvuodesta (Kuva 34.) vaihtelu taas hieman stabiloituu kesästä.

7.6 Vastaanotetun tehon keskiarvo ja keskihajonta vuorokauden aikana

Tässä luvussa vertaillaan vuorokauden aikana tapahtunutta tehon muutosta miniarvoilla, maksimiarvoilla, keskiarvolla (Kuvat 35, 36, 37 ja 38) sekä keskihajonnalla (Kuva 39.). Näin saadaan taas uutta näkökulmaa mahdollisille tehon vaihtelun kannalta oleellisiin ilmiöihin. Kaikki vuorokauden aikana tulleet mittaustulokset on huomioitu kun on tehty minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta. Mitään mittaustulosta ei ole jätetty pois.

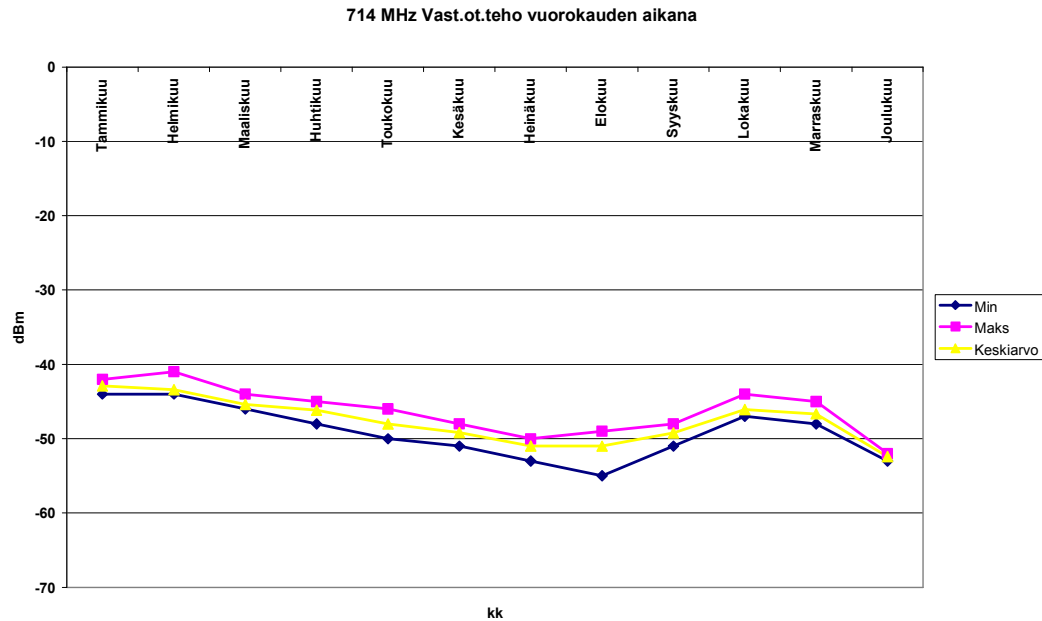


Kuva 35. 538 MHz:n vuorokauden aikana tapahtuvan muutoksen minimi, maksimi sekä keskiarvo.

Kuvasta 35 huomataan, että vuorokauden aikainen muutos kuukausittain vuoden ajalta on laskeva. Tässä kuvassa myös huomataan edellisessä luvussa havaittu tehon heikentyminen kesäkausien aikana.

Taulukko 16. 538 MHz:n vuorokauden aikana tapahtuvan muutoksen minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta.

	Min(dBm)	Maks(dBm)	Keskiarvo(dBm)	Keskihajonta(dB)
Tammikuu	-33	-31	-32,25503822	0,437626177
Helmikuu	-33	-32	-32,74009729	0,438733468
Maaliskuu	-35	-33	-33,5886032	0,507559743
Huhtikuu	-37	-35	-35,68728284	0,550178423
Toukokuu	-37	-36	-36,23071577	0,42143734
Kesäkuu	-38	-36	-36,50173732	0,612653805
Heinäkuu	-39	-37	-37,23835997	0,432705473
Elokuu	-39	-36	-37,23974983	0,452382282
Syyskuu	-37	-36	-36,76372481	0,424940833
Lokakuu	-36	-34	-35,00208478	0,102111728
Marraskuu	-36	-35	-35,32244614	0,467575189
Joulukuu	-39	-38	-38,35649757	0,479131072

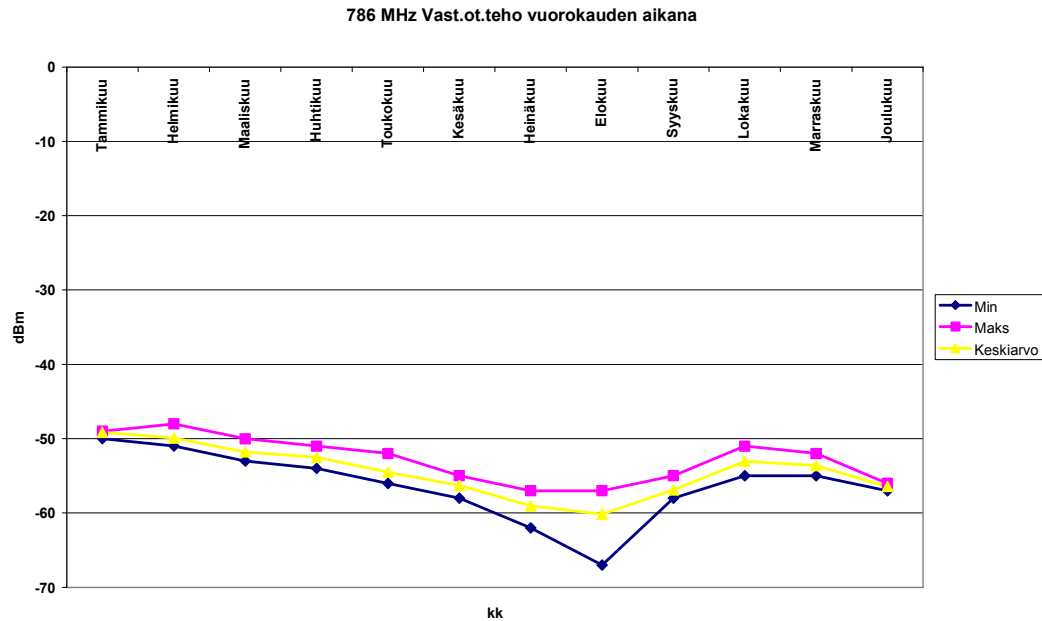


Kuva 36. 714 MHz:n vuorokauden aikana tapahtuvan muutoksen minimi, maksimi sekä keskiarvo.

Kuvasta 36 huomataan myös tehon lasku kesäkuukausina. Myös elokuussa tehon lasku päivisin huomataan minimiarvossa.

Taulukko 17. 714 MHz:n vuorokauden aikana tapahtuvan muutoksen minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta.

	Min(dBm)	Maks(dBm)	Keskiarvo(dBm)	Keskihajonta(dB)
Tammikuu	-44	-42	-42,88047255	0,326656769
Helmikuu	-44	-41	-43,40514246	0,903093873
Maaliskuu	-46	-44	-45,39471855	0,521978597
Huhtikuu	-48	-45	-46,16608756	0,443861762
Toukokuu	-50	-46	-48,02432245	0,757047884
Kesäkuu	-51	-48	-49,18068103	0,985649088
Heinäkuu	-53	-50	-50,97845726	0,706778316
Elokuu	-55	-49	-51,00069493	1,233232267
Syyskuu	-51	-48	-49,21542738	0,576074621
Lokakuu	-47	-44	-46,09103544	0,670807102
Marraskuu	-48	-45	-46,66851981	0,481135036
Joulukuu	-53	-52	-52,39888812	0,489839902

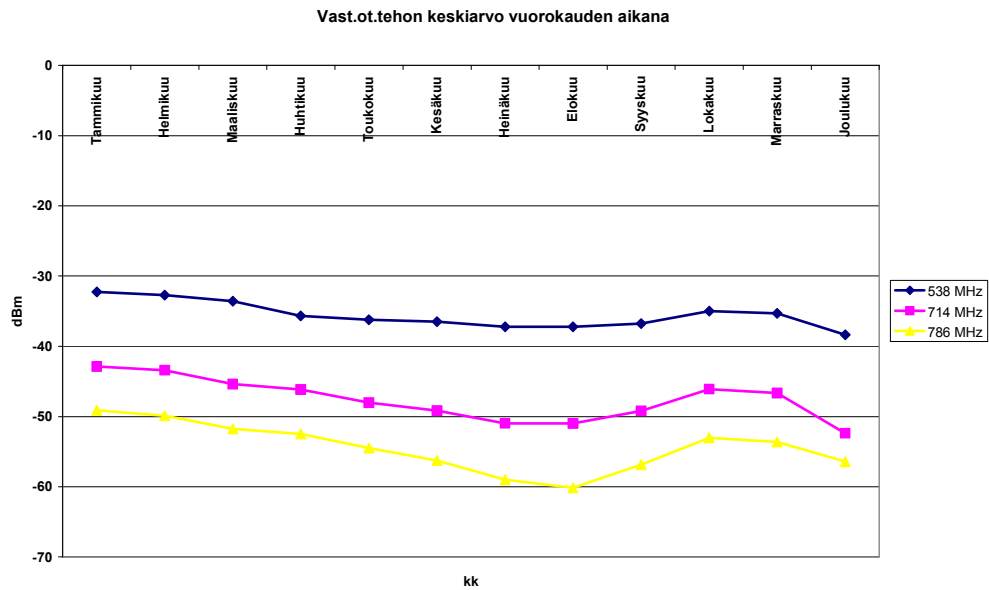


Kuva 37. 786 MHz:n vuorokauden aikana tapahtuvan muutoksen minimi, maksimi sekä keskiarvo.

Kuvasta 37 huomataan vielä selkeämmin tehon muutos elokuussa. Muuten kuvat 35, 36 ja 37 ovat samantyyllisiä eli alkuvuodesta teho on korkeimmillaan, kesällä teho laskee ja loppuvuodesta teho nousee melkein alkuvuoden tasolla. Joulukuussa toisaalta on iso tehon heikentyminen.

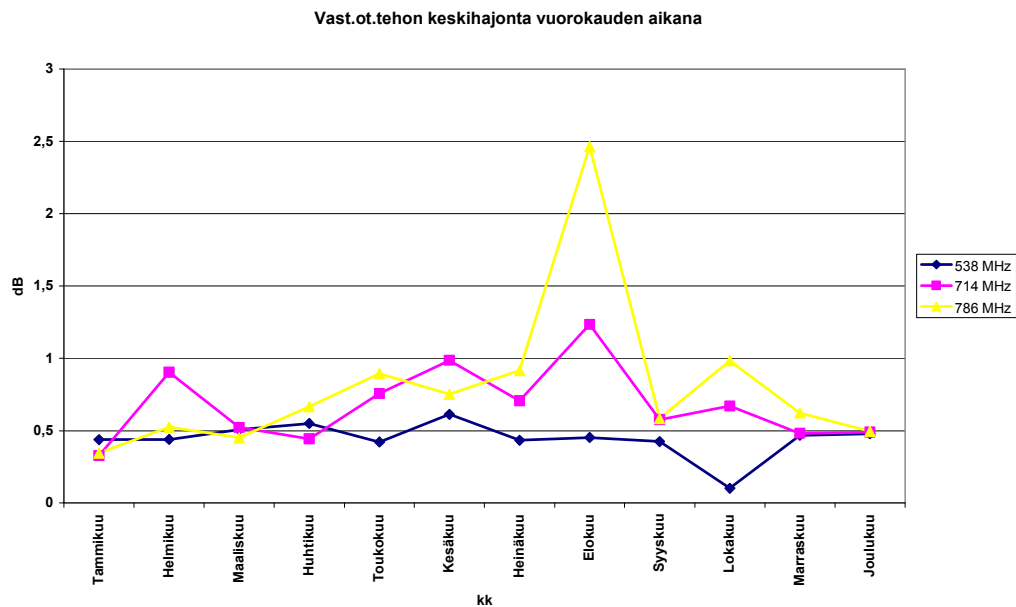
Taulukko 18. 786 MHz:n vuorokauden aikana tapahtuvan muutoksen minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta.

	Min(dBm)	Maks(dBm)	Keskiarvo(dBm)	Keskihajonta(dB)
Tammikuu	-50	-49	-49.13829048	0.345324619
Helmikuu	-51	-48	-49.90062543	0.523966256
Maaliskuu	-53	-50	-51.78318277	0.450893891
Huhtikuu	-54	-51	-52.48992356	0.665880101
Toukokuu	-56	-52	-54.50312717	0.894946377
Kesäkuu	-58	-55	-56.26337735	0.751993173
Heinäkuu	-62	-57	-59.01459347	0.916049729
Elokuu	-67	-57	-60.13690063	2.463648167
Syyskuu	-58	-55	-56.87977762	0.583858877
Lokakuu	-55	-51	-53.03613621	0.983918296
Marraskuu	-55	-52	-53.61223072	0.622718221
Joulukuu	-57	-56	-56.43224461	0.495560156



Kuva 38. 538 MHz:n, 714 MHz:n ja 786 MHz:n taajuuksien vuorokauden aikana vastaanotettujen tehojen keskiarvo.

Keskiarvosta (Kuva 38.) huomataan hyvin, miten kaikki 3 taajuutta käyttäytyy samalla tavalla vuodenajasta riippumatta. Lähetys sekä vastaanotto ovat olleet luotettavaa jokaisella taajuudella.



Kuva 39. Vuorokauden aikana vastaanotettujen tehojen keskihajonta.

Kuvasta 39 huomataan outo muutos tehossa elokuussa. Keskihajontaa on selvästi enemmän korkeimmilla taajuuksilla kuin matalalla. Elokuinen muutos jää vielä kiinnostamaan, että mikä oudon ilmiön mahtoi tehdä.

Vertailun vuoksi voidaan laskea häviötön linkkibudjetti lähetys- ja vastaanottoantennin välille eli Free Space Loss. Tämä tarkoittaa sitä, ettei näiden 2 antennin välissä ole mitään häiriötekijöitä vaan teho pääsee vapaasti liikkumaan tyhjiössä ja vain välimatka ja pallonpinta vaimentavat tehoa. Oletetaan että Kuusiston antenni lähettää 2 kW:n ja 1 kW:n EIRP teholla televisiolähetystä Turun alueelle. Näin voidaan laskea lausekkeen 8 avulla häviötön vastaanotettu teho P_{RX} , kun EIRP muutetaan dBm muotoon seuraavalla tavalla

$$P_{TX} = 10 \log \left(\frac{EIRP}{1mW} \right) (dBm), \quad (28)$$

jolloin saadaan 2 kW:n teholle 63 dBm:ä lähetystehoa ja 1 kW:n teholle 60 dBm:ä lähetystehoa. Lausekkeella 8 voidaan laskea yhteysvaimennus

$$L_F (dBm) = 42,44 + 20 \log R_{km} + 20 \log f_{MHz}, \quad (29)$$

jossa R on 8,3 km ja f on taajuus. Vastaanotettu häviötön teho lasketaan seuraavasti

$$P_{TX} - L_F + Gain(dBi) = P_{RX, häviötön},$$

jossa Gain jokaisen taajuuden oma vahvistus. (Taulukko 5.)

Taulukossa 19 nähdään vastaanotettu häviötön teho jokaiselle taajuudelle 2:lla eri lähetysteholla.

Taulukko 19. Vastaanotettu häviötön teho

Taajuus(MHz)	2 kW / Prx(dBm)	1 kW / Prx(dBm)
538	-37,05	-40,05
714	-37,35	-40,35
786	-37,05	-40,05

8 ANALYSOINTI

8.1 Vuodenajan ja sään vaikutus tehon vaihteluun

Luvussa 7 esitetyt mittaustulokset osoittavat selvästi, että sääolosuhteilla on suuresti merkitystä, kun puhutaan vastaanotetun tehon vaihtelusta. Minkäänlaista suoraa yhteyttä ei välttämättä voida tehdä tehon sekä sään välille, mutta voidaan olettaa erilaisten ilmiöiden vaikutusta tehon muutokseen. Esim. elokuussa (kuva 30 ja 33) sateen määrä on vaikuttanut oleellisesti tehon vaimenemiseen. Internetissä oleva sääpalvelu Weather Underground osoittaa, että elokuussa on satanut vettä 19 päivää. Näinä päivinä elokuussa on ollut enemmän tehon muutosta. Sääpalvelun mittapiste on Turun lentokentällä Maskussa. Näin ollen voidaan tehdä johtopäätös siitä, että sekä sateella että kostealla ilmalla on merkitystä tehon vaihtelun kannalta. Luvussa 5.2 käsiteltiin radioaallon sirontaa, jolloin osa tehosta siroaa matkalle sekä osa heijastuu takaisinpäin. Näin on oletettavasti käynyt elokuussa sekä muina kuukausina ja päivinä, jolloin tehon keskihajonta on ollut huomattavan suurta johtuen sateesta.[15]

Suuret lämpötilan muutokset öisin ja päivisin vaikuttavat myös oleellisesti tehon muutoksiin. Mitä suurempia ovat sään vaihtelut niin sitä enemmän vastaanotetun tehonkin pitäisi muuttua. Kuvista 30 ja 33 havaitaan kesä- heinä- ja elokuun ajalta tehon suurta vaihtelua klo 7:00 – 21:00 välillä. Auringon noustessa ilma lämpenee ja voidaan olettaa, että tehon muutokset johtuvat lämpötilan vaihtelusta. Kuvista 30 ja 33 havaitaan myös, että vastaanotettu teho on matalimmillaan n. klo 17:00, jonka jälkeen teho alkaa taas nousta. Weather Underground palvelusta pystytään tutkimaan päiväkohtaisia lämpötilan muutoksia. Sivusto osoittaa selvästi, että kesäkuuna lämpötila on korkeimmillaan n. klo 16:00 – 17:00. Näin ollen yhteinen tekijä löytyy lämpötilan ja tehon vaihtelun välille. Teho muuttuu vain kesähelteillä ja talvisin ei vaihtelua havaita näin selkeästi.[15]

Mielenkiintoisin havainto on, että alkuvuonna sekä syyskuun jälkeen vastaanotettu teho on selvästi voimakkaampaa kuin kesällä. Yksi selitys tähän ilmiöön saattaa olla puiden lehtien kasvu. Lehtien kasvaessa suuremmiksi heijastumien määrä nousee. Tällöin vastaanottimeen on mahdollisesti tullut myös heijastuneita radioaaltoja, jotka ovat aiheuttaneet tehon heikentymistä kun heijastuneen aallon vaihe on muuttunut. Havainto on myös ristiriidassa sen kanssa, että sateen määrän kasvaessa tehonkin

tulisi heikentyä. Syyskuussa sateen määrä on paljon suurempi kuin kesällä, joten olisi voinut olettaa, että syyskuussa vastaanotettu teho olisi ollut heikempää.

Monitie-etenemisen vaikutus kasvaa myös, kun puissa tai talojen katolla on lumipeite. Varsinkin lumen sulaessa märkä lumi aiheuttaa enemmän heijastumisia kuin kuiva pakkaslumi. Kuiva maa ei heijasta niin paljon kuin märkä maa.

8.2 Muiden mekanismien aiheuttama vaihtelu tehossa

Ensimmäisenä havaintona huomataan, että jokainen kanavapaketti lähetetään eri teholla Kuusistosta, koska vastaanotettu teho eroaa paljon taajuuksien kesken. 538 MHz:n kanava lähetetään huomattavasti suuremmalla teholla kuin 714 MHz:n ja 786 MHz:n taajuudet. Tämä johtuu luultavasti siitä, että 538 MHz:n kanava on tarkoitettu mobiilikäyttöön ja näin pyritään saada aikaan luotettava vastaanotto jokaiselle käyttäjälle. 714 MHz:n ja 786 MHz:n vastaanotetut voimakkuudet ovat lähekkäin toisiaan ja näin ollen voidaan päätellä, että kanavapaketit lähetetään melkein samanlaisilla tehoilla.

Tarkasteltaessa tehon vaihtelua vuorokauden aikana havaittiin, että kellonajoillakin oli vaikutusta tehon vaihteluun. 538 MHz:n viivakaavioissa (Kuva 26 ja 27) havaitaan selkeät muutokset alkuvuodesta sekä kesäkuuna. Muutokset tapahtuvat selkeästi klo 8:00 – 21:00 välissä. Yhtenä oletuksena voidaan mainita, että ihmisten mennessä töihin aamulla n. klo 8.00 autot aiheuttavat heijastumisia ja monitie-etenemisen mahdollisuus nousee. Autot itsessään heijastavat hyvin radioaallon ja aalto heijastuu eri tavoin riippuen siitä miten se osuu autoon. Tämän lisäksi autojen aiheuttama pöly heikentää tehoa. Ainoastaan 538 MHz:n viivakaavioista näkyi selkeä muutos ajallisesti katsoen ja pelkästään alkuvuonna. Voidaankin vain kysyä miksi ei muina kuukausina, tai muilla taajuuksilla näkynyt samaa ilmiötä yhtä selkeästi.

Luvussa 6.5 laskettiin Fresnelin vyöhykkeet jokaiselle taajuudelle. Pystyäkseen etenemään vapaasti Fresnelin vyöhykkeessä radioaalto tarvitsee vapaata tilaa tarpeeksi. Vyöhykkeen säteen tulisi olla esim. 538 MHz:n tapauksessa 34 m. ICT-talon ollessa n. 30 m korkea ja Kuusiston antennin n. 300 m, niin jää vain kysyttäväksi, että pystytäänkö Fresnelin vyöhyke toteuttamaan koko matkalta ilman esteitä. Korkeat rakennukset sekä metsä saattavat aiheuttaa sen, että Fresnelin vyöhyke ei ole vapaa. Kuvasta 13 huomataan, että matkanvarrella on metsää sekä asutusta. Tehosta

luultavasti jää siis osa matkanvarrelle, koska linkkiyhteyttä ei ole pystytty rakentamaan niin, että vapaa Fresnelin vyöhyke toteutuisi.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni käsiteltiin digitaalisen television kentänvoimakkuuksien vaihtelua antenniverkossa. Työssä myös esiteltiin erilaisten mekanismien vaikutuksia radiotiellä etenevään sähkömagneettiseen kenttään. Työssä vertailtiin vastaanotettua tehoa sekä kentänvoimakkuuksia kuukausittain sekä vuorokausittain koko vuoden 2010 ajalta.

Työ osoitti, että radiotie-eteneminen ei ole vain 2 antennia suunnattuna toisiinsa vaan paljon muuta. Täytyy ymmärtää monia seikkoja, jotka tekevät radioverkon toimivaksi ja luotettavaksi sekä vaikuttavat sen toimintaan. Työstä selvisi viime vuoden tehon käyttäytyminen sekä sen avulla pystyttiin vertailemaan radiotiellä olevien mekanismien eroja teorian ja käytännön välillä. Tuloksia voidaan hyvin hyödyntää 500 MHz – 800 MHz:n taajuusalueen radioverkkojen kentänvoimakkuussuunnittelussa erityisesti lounais-suomen alueella. Rajoitteina työssä oli säädätan mittauspaikan sijainti, joka sijaitisi Turun lentokentällä Maskussa, jolloin ei saatu säadataa ICT-talon lähetyviltä.

Mittaukset tehtiin pelkästään kiinteällä vastaanottoantennilla eli ei huomioitu sitä mahdollisuutta, että vastaanottoantenni olisi liikkunut ja monitie-etenemisen esiintymistä olisi ollut paljon enemmän. Näin ollen mittauksia voitaisiin jatkaa mahdollisesti liikkuvalla antennilla ja, että mittauksia tehtäisiin monista eri mittauspisteistä. Työssä käytetyn vastaanottoantennin ollessa ulkona mittauksia voitaisiin jatkaa myös sisätiloissa.

10 LÄHTEET

- [1] DVB “DVB Fact sheet: Introduction to the DVB project” 2011. [pdf-dokumentti] Saatavilla: http://www.dvb.org/technology/fact_sheets/DVB-Project_Factsheet.pdf (luettu 9.5.2011)
- [2] Talmola, P. “DVB-T standard and COFDM” 2001. Turku, Nokia NVO R&D [power point dokumentti]
- [3] Tolmunen, T. ”Sähkö- ja magneettikentät”, kurssimateriaali, Turun ammattikorkeakoulu, 2008
- [4] Viinikainen, A. “TLI245 Radiojärjestelmät 1” 2003. [pdf-dokumentti] Saatavilla: <http://users.jyu.fi/~arjuvi/opetus/tli347/tli245.pdf> (luettu 9.5.2011)
- [5] Saunders Simon R., Zavala Alejandro Aragón “Antennas and propagation for wireless communication systems 2nd edition” 2007. Englanti: John Wiley & Sons, Ltd
- [6] Räisänen, Antti V., Lehto, A. “Radio engineering for wireless communication and sensor applications” 2003. Boston: Artech House
- [7] Räisänen, A., Lehto, A. ”Radiotekniikan perusteet” 12.painos 2007. Helsinki: Otatieto Oy
- [8] Gylén, H. ”Langaton tiedonsiirto ja häiriönsuojaus”, kurssimateriaali, Turun ammattikorkeakoulu, 2009
- [9] Ekman, R “Radiotietoliikenteen perusteet”, kurssimateriaali, Turun ammattikorkeakoulu, 2007
- [10] Albert A. Smith, Jr “Radio frequency principles and applications” 1998. New Jersey: IEEE Press Marketing
- [11] Haslett C. “Essentials of radio wave propagation” 2008. Englanti: Cambridge University Press
- [12] DVB “Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)” 2009. [pdf-dokumentti] Saatavilla:

http://www.dvb.org/technology/standards/a133_DVB-T2_Imp_Guide.pdf (luettu 9.5.2011)

[13] DVB “ETSI EN 300 744 v1.6.1 Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television” 2009. [pdf-dokumentti] Saatavilla: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300700_300799/300744/01.06.01_60/en_300744v010601p.pdf (luettu 9.5.2011)

[14] DVB “ETSI TR 101 190 v1.3.1 Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects” 2008. [pdf-dokumentti] Saatavilla: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101100_101199/101190/01.03.01_60/tr_101190v010301p.pdf (luettu:9.5.2011)

[15] Weather Underground Turun sää tietokanta Saatavilla: http://www.wunderground.com/history/airport/EFTU/2010/1/1/DailyHistory.html?req_city=NA&req_state=NA&req_statename=NA (luettu 10.5.2011)

Vastaanottoantenni Televes DAT UHF 45 Data Sheet

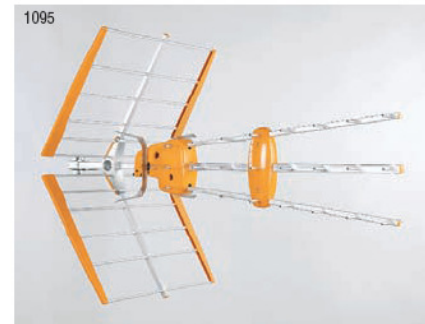
UHF DAT 45 DTT ready

PRODUCT RANGE	
REF.	DESCRIPTION
1095	DAT 45
1595	DAT 45 (Ref. 1095 Black)
1145	DAT 45 single pk.

These antennas consisting of 45 elements are specially indicated for DTT / HDTV reception.

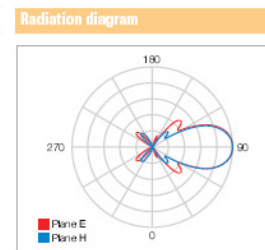
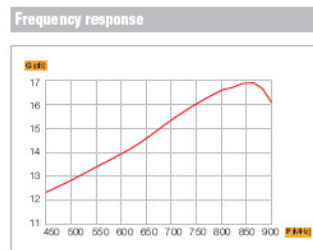
Fully shielded connection box with F connector.

Possibility of inserting a MRD.



FULLY SHIELDED
F connector

References		1095	
Channel		21-69	
Gain	dB	17	
F/B ratio		28	
Length	mm	1020	
Wind load	800 N/m ²	N	109.5
	1100 N/m ²		150.5
Wind pressure	N/m ²	800	1100
Wind speed	Km/h	130	150



UHF DAT 75 DTT ready

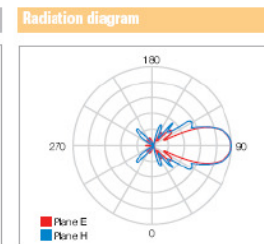
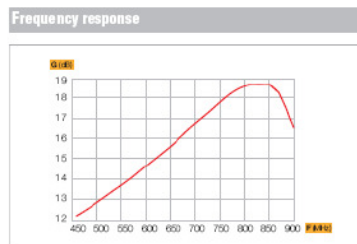
PRODUCT RANGE	
REF.	DESCRIPTION
1097	DAT 75
1597	DAT 75 (Ref. 1097 Black)

Very high and directive 75-element antennas for areas where reception conditions are bad.



FULLY SHIELDED
F connector

References		1097	
Channel		21-69	
Gain	dB	19	
F/B ratio		32	
Length	mm	1825	
Wind load	800 N/m ²	N	144
	1100 N/m ²		198
Wind pressure	N/m ²	800	1100
Wind speed	Km/h	130	150



Testivastaanotin R&S TSM-DVB DVB-T/H Data Sheet

Version
02.00July
2007

R&S® TSM-DVB DVB-T/H Diversity Test Receiver

Compact drive test receiver for DVB-T and DVB-H

- ◆ Fast DVB-T and DVB-H measurements for drive test applications
- ◆ Indoor and outdoor coverage measurements possible
- ◆ Fully software-supported application via R&S® ROMES
- ◆ VHF (channels 5 to 12; 177.5 MHz to 226.5 MHz)
- ◆ UHF (channels 21 to 69; 474 MHz to 858 MHz)
- ◆ User-selectable IF bandwidths of 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, and 8 MHz
- ◆ RS-232-C interface
- ◆ High-quality stable aluminum case, compact
- ◆ Low power consumption 12 V DC/12 W
- ◆ Secured measurements due to antenna diversity
- ◆ Two ASI outputs for two MPEG transport streams



At a glance

For survey tests within DVB-T/H networks, operators usually perform measurements in line with the ETSI DVB-T and DVB-H standards:

- ◆ ETSI EN 50083-9
- ◆ ETSI EN 300 744 including annex F

Stationary measurements are performed with directional antennas raised to 10 m above the surface. These measurements require tremendous investments in specialized measurement vehicles. Furthermore, these kind of coverage measurements take a lot of time. Finally, the coverage information is collected only for smaller areas, not in the broad field.

Emerging technologies (such as DVB-T/H) are generating a demand for new coverage measurement methods that do more than the traditional procedure mentioned above. These new methods must work in mobile scenarios, i.e. during driving.

The R&S®TSM-DVB DVB-T/H diversity test receiver has been designed for mobile measurements in DVB-T/H networks, even at very high driving speed (up to 100 km/h). Its concept helps ensure reliable and fast measurements.

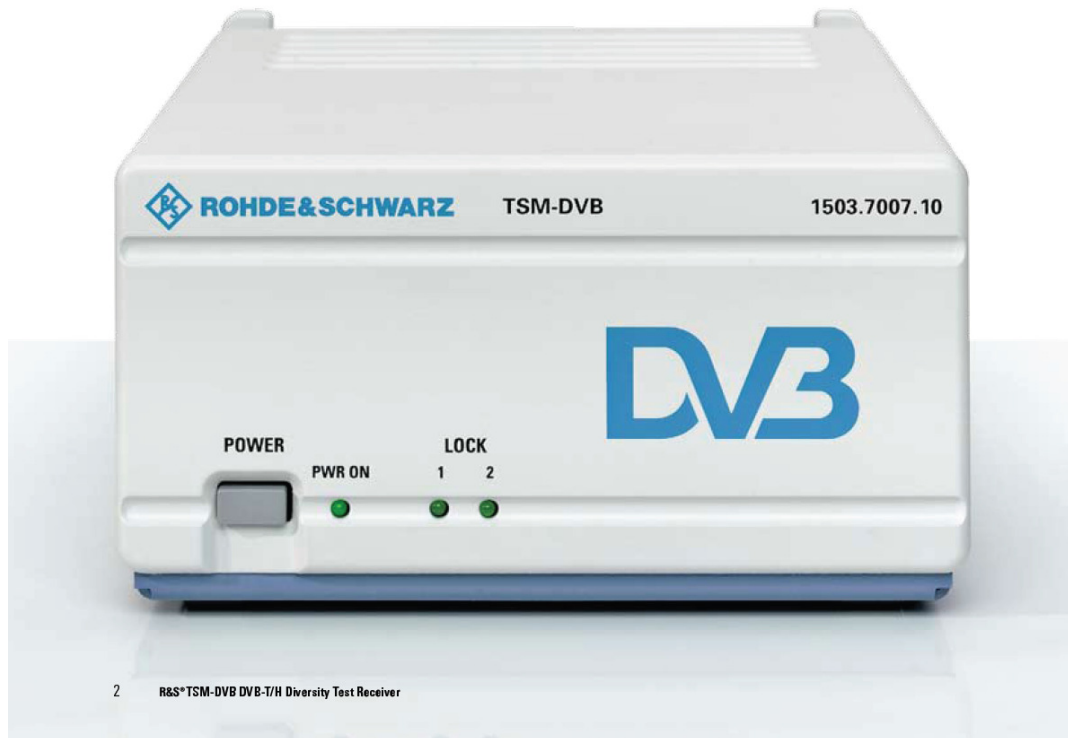
The R&S®TSM-DVB DVB-T/H diversity test receiver complies with the standard DVB-T/H receiver specifications. It also complies with the equipment environment at the following levels:

- ◆ Mechanical
- ◆ Electrical
- ◆ Control

The receiver supports all DVB-T/H modes (2K, 4K, 8K), including hierarchical modes, and does so in all available bandwidths (5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, and 8 MHz) with the same hardware.

The receiver is equipped with two antenna inputs (for diversity reception) and two demodulation channels.

Front view of the R&S®TSM-DVB



2 R&S®TSM-DVB DVB-T/H Diversity Test Receiver

Applications

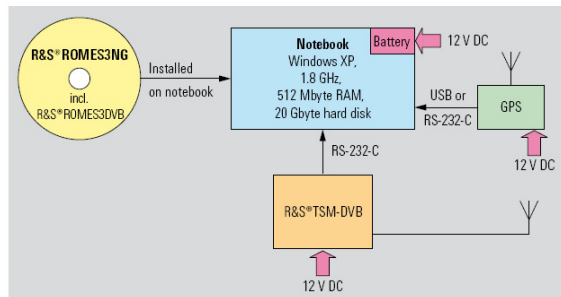
The R&S®TSM-DVB DVB-T/H diversity test receiver can be used for mobile coverage measurements. The R&S®ROMES drive test measurement software provides an effective driver to support the DVB-T/H receiver.

The R&S®TSM-DVB DVB-T/H diversity test receiver together with the R&S®ROMES software make mobile measurements possible in a DVB-T/H network. The system performance allows driving speeds up to 100 km/h.

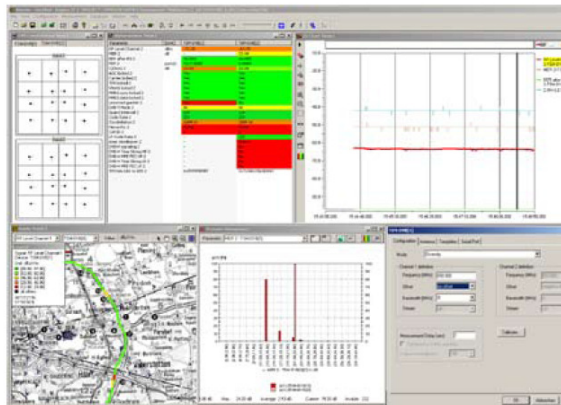
The R&S®TSM-DVB DVB-T/H diversity test receiver provides the following measurement parameters:

- ◆ RF level
- ◆ MER (modulation error ratio)
- ◆ PER (packet error ratio)
- ◆ BER (bit error ratio after Reed-Solomon)
- ◆ TPS bits b16 to b55
- ◆ DVB-H signaling performed/not performed
- ◆ Time slicing used/not used on HP/LP stream
- ◆ MPE FEC used/not used on HP/LP stream
- ◆ Constellation diagram view

The R&S®ROMES application software displays all of these parameters online and stores all data together with time and positioning information.



DVB-T/H drive test application: R&S®TSM-DVB test receiver, notebook, GPS, and R&S®ROMES drive test software



Screenshot of a typical measurement display used in R&S®ROMES coverage measurement software

Configuration examples

**DVB-H test application**

The R&S®ROMES drive test software controls the R&S®TSM-DVB receiver and an optional GPS. DVB-H mobile is used for visual picture quality control.

**R&S®TSMU-Z3 backpack drive test system**

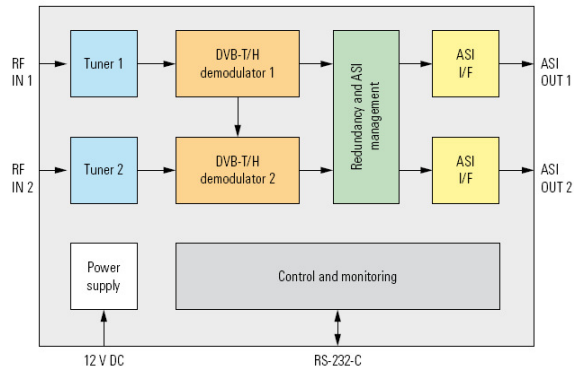
The R&S®TSM-DVB receiver is used for parallel DVB-H measurements, and GSM, WCDMA measurements are performed with test mobile phones. Control via pen PC (not shown) and R&S® ROMES drive test software (indoor/outdoor application).

**R&S®TS51GA drive test aluminum case**

Fix mounted notebook (with R&S®ROMES drive test software installed), R&S®TSM-DVB receiver, test mobile phones and GPS for parallel coverage tests in radio networks (outdoor application).

Technology

The R&S®TSM-DVB DVB-T/H diversity test receiver is equipped with two RF receivers, two DVB-T/H demodulators, and thus two ASI outputs, as well as a complex programmable logic device (CPLD). All are controlled by a state-of-the-art microcontroller.



Functional block diagram

Mode of operation	ASI outputs	Active RF inputs
Dual input	ASI 1 ↔ ASI 2 ↔	RF IN 1 RF IN 2
Redundant	ASI 1 = ASI 2	RF IN 1 or RF IN 2
Hierarchical	ASI 1 (HP) ↔ ASI 2 (LP) ↔	RF IN 1 RF IN 2
Diversity	ASI 1 = ASI 2	RF IN 1 = antenna 1 RF IN 2 = antenna 2

Operating modes

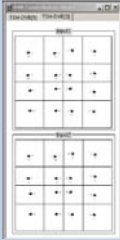
Features

- ◆ Modern chipset and microprocessor design → fast DVB-T/H measurements possible
- ◆ High-tech Rohde & Schwarz design and production process → stable aluminum case, compact size, low weight, low power consumption (12 V DC)
- ◆ Online display of all measurement data; data evaluation in replay mode; layer concept supports maps; more than 30 different drivers available (Rohde & Schwarz receivers, test mobile phones, GPS) → fully supported by the R&S®ROMES measurement software
- ◆ Double-receiver concept with four user-selectable modes: dual input, redundant, hierarchical, diversity → secured measurements due to antenna diversity, two ASI outputs for two MPEG transport streams
- ◆ Modular hardware and software concept → easy expandability with test mobile phones and R&S®TSMx radio network analyzer for mobile network application

Benefits

- ◆ Reduction of measurement time; cost-saving measurements
- ◆ Ideal for mobile applications (indoor and outdoor); easy integration into backpack or suitcase; low expenditure for system design
- ◆ High-performance R&S®ROMES drive test software with intuitive, easy-to-use user interface
- ◆ Very flexible applications due to diversity receiver concept
- ◆ Future-proof modular and expandable R&S®ROMES software; hardware add-ons for high-quality DVB-T tests (R&S®EFA, R&S®DVMD, R&S®DVQ) available

Specifications

RF inputs	
VHF	channels 5 to 12; 177.5 MHz to 226.5 MHz with IF bandwidth of 7 MHz
UHF	channels 21 to 69; 474 MHz to 858 MHz with IF bandwidth of 8 MHz
IF bandwidths	user-selectable IF bandwidths of 5 MHz, 6 MHz, 7 MHz, and 8 MHz for all VHF, UHF bands
Frequency step	166.667 kHz
Frequency offset	± 167 kHz or ± 125 kHz, supported without configuration
Input sensitivity	-92 dBm to -20 dBm (depends on DVB-T/H mode, low values: QPSK only)
Level accuracy	± 2 dB (level ≤ -30 dBm, $+15$ °C to $+50$ °C) ± 3 dB (level ≤ -30 dBm, 0 °C to $+15$ °C)
Input impedance	75Ω , on female N connector
DVB-T demodulation	fully compliant with ETS 300744; includes hierarchical modes (selection of stream priority) DVB-H signaling performed/not performed MPE FEC used/not used on HP/LP stream automatic mode detection from TPS information (even at 0 dB C/N), TPS bits b16 to b55 dual-stream demodulation in hierarchical mode in-depth deinterleaver dual-stream demodulation in redundant mode with automatic or manual switching diversity mode DVB-H signaling (time slicing and MPE FEC) in TPS field (no power reduction and no MPE FEC decoding) (time slicing used/not used on HP/LP stream)
Constellation diagram	
ASI output	fully compliant with EN 50063-9 188 bytes per packet in data burst format (continuous mode) dual outputs
Control of module	RS-232-C interface with standard ± 12 V level in slave mode two 5 V TTL status lines
MPEG TS outputs	serial interfaces
Output impedance	75Ω
Output format	ASI (HotLink drivers)
Output connector	BNC
General data	
Power supply	single $+12$ V power supply max. 1 A (12 W)
Dimensions (H \times W \times D)	83 mm \times 154 mm \times 224 mm (3.3 in \times 6.1 in \times 8.8 in)
Weight	approx. 1.4 kg (3.1 lb)

Ordering information

DVB-T/H Diversity Test Receiver	R&S®TSM-DVB	1503.7007.10
Options and accessories		
DVB-T/H Antenna Fixed Mount	R&S®TSM-DVB-Z1	1503.4008.02
DVB-T/H Antenna Magnet Mount	R&S®TSM-DVB-Z2	1503.4014.02
DVB-ASI Decoder (PCI) for R&S®TSM-DVB	R&S®TSM-DVB-Z3	1503.4020.02
DVB-ASI Decoder (USB) for R&S®TSM-DVB	R&S®TSM-DVB-Z4	1503.4037.02
Power Supply 230 V AC, 12 V DC/6 A	R&S®TSM-U-Z1	1166.3786.02
19" Rack Adapter	R&S®TSM-U-Z2	1153.6700.02
Indoor Backpack System	R&S®TSM-U-Z3	1153.6900.02
Drive Test System Software	R&S®ROMES3NG	1143.7991.40
R&S®ROMES Driver for R&S®TSM-DVB	R&S®ROMES3DVB	1502.5652.40
DVB-T/H Drive Test Bundle consisting of: R&S®TSM-DVB Receiver, GPS, R&S®ROMES3NG Drive Test System Software, R&S®ROMES3DVB Driver Software for R&S®TSM-DVB, R&S®ROMES3IND Indoor Driver Software (Please note: The R&S®ROMES software is not upgradeable.)	R&S®TS-DVB-T/H	1508.1742.02

Rear view of the R&S®TSM-DVB



R&S®TSM-DVB DVB-T/H Diversity Test Receiver 7



More information at
www.rohde-schwarz.com
(search term: TSM-DVB)



www.rohde-schwarz.com
Europe: +49 1805 12 4242, customersupport@rohde-schwarz.com
USA and Canada: +1-888-837-8772, customer.support@rsa.rohde-schwarz.com
Asia: +65 65 130 488, customersupport.asia@rohde-schwarz.com

RS® is a registered trademark of Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. Trade names are trademarks of the owners. Printed in Germany (dt)
PD 5013587-4-32, Version 02.00, July 2007, RS® TSM-DVB. Data without tolerance limits is not binding. Subject to change.