

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

Magnus Kullström

FlexWave MMW-125 -siirtojärjestelmä

Insinööritö 5.5.2009

Ohjaaja: asiakaspäällikkö Martti Koivisto
Ohjaava opettaja: yliopettaja Pertti Jäppinen

Tekijä	Magnus Kullström
Otsikko	FlexWave MMW-125 siirtojärjestelmä
Sivumäärä	43 s.
Aika	5.5.2009
Koulutusohjelma	Tietotekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	asiakaspäällikkö Martti Koivisto
Ohjaava opettaja	yliopettaja Pertti Jäppinen
<p>Tämä insinööriyö tehtiin Onninen Oy:lle. Työssä tutkittiin ADC:n markkinoimaa FlexWave MMW-125 siirtojärjestelmää.</p> <p>Työ alkaa tutustumalla millimetriaallon teoriaan ja sen käyttötarkoituksiin. Tämän jälkeen tutustutaan E-band taajuusalueeseen ja FlexWave MMW-125 ominaisuuksiin, kanavointiin ja modulaatioon. Työssä kerrotaan tehtävän kuvauksessa, mitä sääilmiöitä haluttiin mitata ja miten mittaus toteutettiin.</p> <p>Seuraavassa vaiheessa käydään läpi linkkiyhteyden rakennetta ja päätelaitteiden kokoonpanoa. Radiolaite ja sen rajapinnat käydään läpi sekä selvitetään radion Web käyttöliittymän käyttö kohteita. Radiolaitteiden käsittelyn jälkeen kuvataan itse testaus ympäristö. Tässä käydään läpi laskennallisesti linkkibudjetti sekä suoritusarvot. Ympäristön kuvauksessa käsitellään myös asennus paikka, testaus ympäristön ohjelmisto ja testaus tavat.</p> <p>Näiden jälkeen esitetään testauksen tuloksia ja poikkeamia testausaineistosta, jotka aiheuttivat vaimennusta. Yhteenvedossa tarkastellaan vaimennuksen syitä syvällisemmin, sekä arvioidaan pinnoite materiaalin toimintaa sää ilmiönaikana.</p> <p>Tutkielma tuo esille millimetriaaltotaajuuden ominaisuuksia sekä siihen syntyvien vaimennusten syitä kiinteän liikenteen tapauksissa. Työn lopputuloksesta voidaan havaita rännän vaikutus signaalin vaimenemiselle E-band taajuusalueella ja sen vaikutusten huomioon ottaminen.</p>	
Hakusanat	FlexWave MMW, millimetriaalto, Onninen, E-band, testaus.

Author Title	Magnus Kullström Student
Number of Pages Date	43 p. 5 May 2009
Degree Programme	Information Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	customer manager Martti Koivisto principal lecturer Pertti Jäppinen
<p>This thesis was written for Onninen Oy. The thesis studies the FlexWave MMW-125 transmission system, which is a product marketed by ADC.</p> <p>The work starts with the theory of millimeter wave and its applications. The next topics are E-band frequency band, FlexWave MMW-125 channeling, features and modulation. After this the assignment description is explained and described the methods of measuring weather effects and which meteorological phenomenon is measured.</p> <p>The next chapter describes the structure of the radio link and the endpoint equipment. Then the radio equipment and its interfaces are explained and the usage and purposes of the Web interface controlling the equipment. After this the thesis concentrates on describing the testing environment. This includes a review of the calculations of the theoretical link budget and the initial values. The description of the testing environment includes installation locations of the link equipment, software used in the testing and testing methods.</p> <p>The summarization of the thesis deals with handles the testing results and the anomalies in the results which led to the attenuation of the received signal strength. The effects of the weather and the relation to wet snow as well as and the level of attenuation are explained. Also the effect of the water repellent coating on the antennas is studied in the summarization chapter.</p> <p>At the conclusion we can see the attenuation effects of wet snow on the millimeter wave length in case of static radio link.</p>	
Keywords	FlexWave MMW, millimeter wave, Onninen, E-band, testing.

Sisällys

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 MILLIMETRIAALTOTEORIA	8
2.1 MILLIMETRIAALLON ETENEMISOMINAISUUDET	8
2.1.1 Ilmakehän vaimennus	9
2.1.2 Sateen aiheuttama vaimennus	11
3 E-BAND-TEORIA	14
3.1 TAAJUUSALUE	14
3.2 MODULAATIO	15
3.3 KANAVAT	16
3.4 OMINAISUUDET	16
4 TEHTÄVÄN KUVAUS	18
4.1 SÄÄOLOSUHTEET	18
4.2 SUOJAUS SÄÄLTÄ	20
5. JÄRJESTELMÄKUVAUS	21
5.1 LAITEKUVAUS	21
5.1.1 Radio	21
5.1.2 Liityntärajapinnat	22
5.1.3 Antenni	23
5.1.4 Käyttöliittymä	24
5.3 LISENSOINTI	27
6 TESTAUSYMPÄRISTÖ	28
6.1 LAITTEIDEN ASENNUS	28
6.1.1 Suoritusarvot	29
6.1.2 Sijainti	31
6.1.3 Asennusalusta	31
6.2 OHJELMISTO	32
6.3 TESTAUSTAPA	33
7 MITTAUSTULOKSET	34
7.1 NORMAALIOLOSUHTEET	35
7.2 POIKKEAMIA	35
8 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	41
LIITE1: MITTAUSTULOKSET VIIKOILTA 12/2009 JA 13/2009	42
LIITE2: MITTAUSTULOKSET VIIKOLTA 14/2009	43

Lyhenteet

MMW	Millimeter wave, millimetriaalto.
EHF	Extremely High Frequency, taajuusalue 30-300GHz.
BER	Bit Error Rate, Bittivirhesuhde. Bittivirheiden lukumäärän suhde lähetettyjen bittien kokonaismäärään tietyssä ajanjaksona
Loopback	Silmukointi. Lähetys suunnan signaalin kytkeminen vastaanotto suunnan signaaliksi.
PRBS	Pseudo-Random Binary Sequence, valesatunnaisbittijakso.
ITU	International Telecommunication Union, Kansainvälinen televiestintäliitto
BPSK	Binary Phase Shift Keying, 2-tilainen modulaatiotekniikka.
FDD	Frequency-Division Duplexing, Taajuusjakoinen lähetys ja vastaanotto kanavapari
RSSI	Received Signal Strength Indication, Vastaanotetun signaalin tehotaso.
SNMP	Simple Network Monitoring Protocol, TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla
LOS	Line of Sight, Suora esteetön näköyhteys siirtotiellä.
NMS	Network Management System, Verkon hallinta järjestelmä.

1 Johdanto

Tiedonsiirtokapasiteetin jatkuva kasvu ajaa yritykset hankkimaan aina suurempia tiedonsiirto nopeuksia. Nopeudet kasvavat olipa kyseessä yksityinen käyttäjä matkapuhelimeen tai yritys joka tarvitsee suurempaa tietoliikenne kapasiteettia yritystoiminnan hoitoon. Tämä ajaa yritykset kehittämään nopeampia tietoliikenneyhteyksiä kaikilla liiketoiminnan osa-alueilla. Työssä tutkitaan millimetriaaltoradiolinkkiä FlexWave MMW-125, jolla voidaan korvata muun muassa kuituyhteyksiä 1–10 km:n matkoilla. Millimetriaalto poikkeaa mikroaalloista taajuudeltaan ja tiedonsiirto kapasiteetiltaan. Millimetriaallot toimivat EHF-taajuuksilla 30–300 GHz ja niiden aallonpituus on yhdestä kymmeneen millimetriin, josta ne ovat saaneetkin nimensä.

Suunniteltaessa millimetriaaltospektrin käyttöä täytyy ottaa huomioon radioaallon etenemisominaisuudet tällä taajuusalueella. Matala taajuisemmat signaalit voivat edetä monia kilometrejä ja läpäisevät helpommin kiinteitä esteitä, mutta millimetriaalto signaalit etenevät 1–10 kilometriä ja eivät läpäise kiinteitä esteitä yhtä hyvin. Hyötypuolena on, että millimetriaalto spektrin käyttö mahdollistaa paljon tiiviimmin asennettuja radiolinkkejä tietyllä alueella, mikä mahdollistaa taajuuden tehokkaan käytön ja erillisten verkkotopologioiden rakentamisen, muun muassa rengastopologian. Millimetriaaltotaajuusalueella lähetys signaalilla on hyvin kapea keila, jonka vuoksi radioaallon ohivuotoa vastaanottimen antennista tapahtuu huomattavasti vähemmän verrattuna mikroaaltotaajuusalueella. Tämä aiheuttaa myös vähemmän häiriötä lähialueen muille millimetriaaltoradioille.

Millimetriaaltoradiolinkkejä voidaan käyttää useissa eri tapauksissa, kuten tilaajien liittämiseksi jo olemassa olevaan runkoverkkoon, matkapuhelinverkon solujen yhdistäminen tukiasemaan, runkoverkkojen yhdistäminen ja varareittinä kuituverkossa. Monesti kuitu- tai kuparikaapelin kaivaminen pisteiden A ja B välille on kalliimpaa tai

jopa mahdotonta, varsinkin kaupunki alueella. Siksi onkin halvempaa pystyttää millimetrialto radiolinkki kaupunki olosuhteissa.

Testeissä käytössä oleva FlexWave MMW-125 toimii 71–76 GHz:n ja 81–86 GHz taajuusalueella ja tarjoaa 1250 Mbs:n nopeuden 1–6 km etäisyyksille Suomen sääolosuhteissa.

Työssä on tarkoitus tutkia FlexWave MMW-125-radiolinkin toimintaa ja Suomen sääolosuhteiden vaikutuksia siirtoyhteyden tilaan. Tutkittavaa aineistoa ovat muun muassa. aika, lämpötila, sääolosuhteet, kuvia antennin tilasta ja vastaanotetun signaalin tehotaso. Aineistosta avulla tarkkaillaan siirtoyhteyden tilaa ja radiopäätteiden vastaanottosignaalin tehotasoa. Havaittaessa suuria tehotason muutoksia voidaan lämpötilatiedon ja kameroista saadun kuvan perusteella seurata sään vaikutusta vaimennukselle.

Tämän tutkielman tuloksena on analyysi FlexWave MMW-125:n soveltuvuudesta käytettäväksi Suomen olosuhteissa sekä järjestelmän toimivuuden analysointi.

2 Millimetriaaltoteoria

2.1 Millimetriaallon etenemisominaisuudet

Millimetriaallot ovat yhdestä kymmeneen millimetrin pituisia, mistä ne ovat saaneet nimensä. Niistä käytetään lyhennettä MMW (millimeter wave). Millimetriaallot toimivat EHF 30–300GHz:n taajuusalueella ja niiden kantama on kilometristä kymmeneen kilometriin. Millimetriaaltoradiolinkki vaatii suoran näköyhteyden (LoS, Line of Sight).

Yleisesti ottaen mentäessä radioaaltotaajuuksilla on ongelmana vapaan tilan ja ilmakehän aiheuttama vaimennus. Vaimennus riippuu signaalin taajuudesta ja matkasta, jonka radioaalto tekee. Mitä suurempi taajuus sitä lyhempi on kantama. Kaava radioaallon vaimennukselle vapaassa tilassa on:

$$L_{fsl} = 92.4 + 20\log f + 20\log R \text{ (dB)}$$

L_{fsl} on vaimennus, f on taajuus [GHz] ja R on matka [Km].

Millimetriaallon vapaan tilan vaimennus vakaisissa sääolosuhteissa taajuuksilla 70 GHz ja 80 GHz on ~130 dB/Km [2, s. 2].

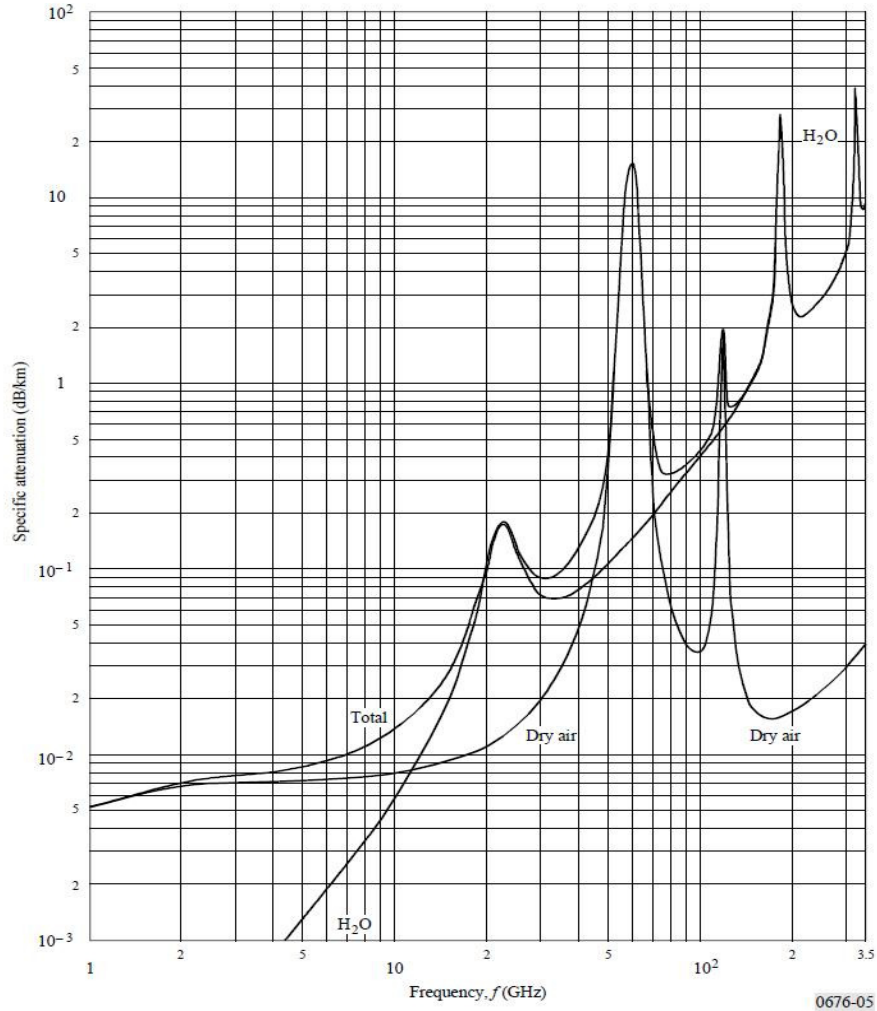
Muita vaimennukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilmakehässä olevat kaasumolekyylit ja pienhiukkaset, kuten sade, lumisade, sumu, usva, pöly, savu ja suolahiukkaset.

2.1.1 Ilmakehän vaimennus

Ilmakehän kaasuista vain hapella ja vesihöyryllä on havaittavat resonanssitaajuudet millimetritaajuusalueella.

Vesihöyry (H_2O) aiheuttaa vaimennusta resonanssitaajuuksilla 22 GHz, 183 GHz ja 325 GHz sekä happi (O_2) resonanssitaajuuksilla 60 GHz ja 118 GHz, kuten kuvasta 1 huomataan. Ilmakehässä on muitakin kaasuja, jotka aiheuttavat vaimennusta kuten N_2O , SO_2 , O_3 , NO_2 , mutta niiden vaikutus on niin vähäistä verrattuna veteen ja happeen, ettei niitä yleensä huomioida. Resonanssi piikkien välille jääviä alueita kutsutaan ikkunoiksi. Niillä taajuusalueilla tapahtuva tietoliikenne on vaimennuksen kannalta järkevää. Resonanssi piikkien korkeuteen vaikuttaa kaasun määrä ja leveyteen paine ja lämpötila. [1, s. 253.]

60 GHz:n kohdalla vaimennus on 15 dB/km, jolloin yhteyden maksimi pituus on noin 1,7 km, jonka jälkeen vaimennus putoaa radikaalisti tultaessa 70 GHz – 100 GHz:n ikkunaan, jossa vaimennus on 0,5 dB/km. Tämä mahdollistaakin E-band-taajuusalueen käytön tietoliikenteessä pidemmällä matkoilla kuten 0,2–6 km. Noustessa taas yli 100 GHz:n taajuuksiin alkaa vaimennus olla este linkkiyhteyksien pitkille etäisyyksille.



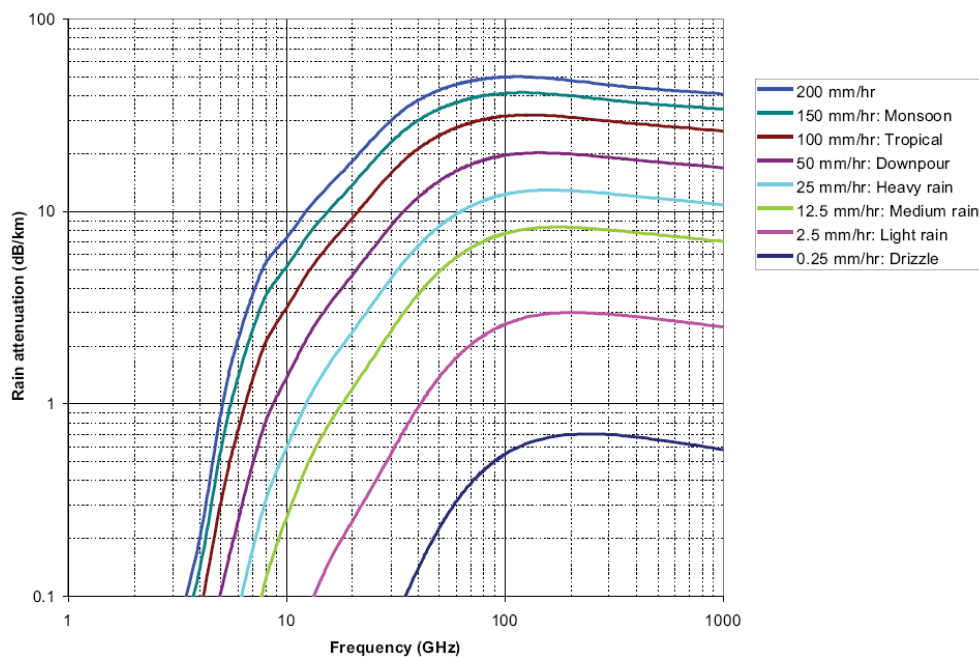
Kuva 1. Ilmakehän ja pienhiukkasten aiheuttama vaimennus. Vesihöyryn määrä $7,5 \text{ g/m}^3$ ja lämpötila $15 \text{ }^\circ\text{C}$ [2, s. 12].

Suhteessa muihin matalampi taajuisiin radioaaltoihin millimetriaallot ovat alttiimpia ilmakehässä ilmenevälle vaimennukselle ja sääolosuhteille. Tämä on yksi suurimmista rajoitteista MMW:n käytössä pitkillä etäisyyksillä, sillä sään ja ilmaston vaimennus kasvaa liian suureksi yli 10 km:n etäisyyksillä.

2.1.2 Sateen aiheuttama vaimennus

Millimetriaaltotaajuus on 30 GHz–300 GHz, jolloin aallonpituus on 1–10 mm, ja millimetriaallot vastaavat kooltaan ilmakehän pienhiukkasia, kuten vesipisaroita, lumihiutaleita ja happimolekyylejä.

Vesimolekyylit vaimentavat signaalia, koska ne aiheuttavat sirontaa, joka tapahtuu, kun signaali osuu kohteeseen, jonka kokoluokka on signaalin aallonpituus tai sitä pienempi. Radioaalto polarisoi sadepisaran sisältämiä vesimolekyylejä, jolloin pisara toimii kuten antenni, sirottaen radioaallon ympäristöön ja aallon matka keskeytyy.



Kuva 2. Sademäärien vaikutus signaalin vaimenemiseen [3, s. 4].

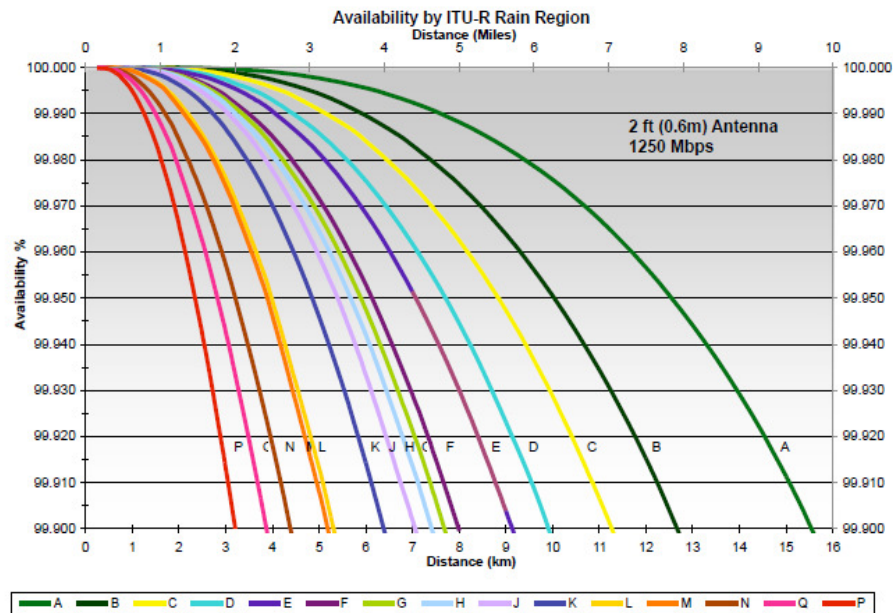
Kuvasta 2 käy ilmi sateen vaikutus radioaaltojen vaimennukseen eri taajuuksilla. Mentaessä korkeille taajuuksille ja suurille sademäärille vaimennus kasvaa huomattavaksi. Kuvassa esitetyt sademäärät ovat keskiarvoja tietyntyyppisistä sateista.

Sateen aiheuttama vaimennus riippuu myös paikallisista sademääristä. Luotettavana pidetyn radiolinkin pituus muuttuu huomattavasti siirryttäessä sademetsästä aavikolle, jolloin sademäärät ja vedestä johtuva vaimennus on pienempää.



Kuva 3. Euroopan, Lähi-idän ja Afrikan sadealueet. [3, s. 5]

ITU on luokitellut maailman sadealueet vuotuisten sademäärien mukaan. Käyttämällä vuotuisia sademääriä ja sadealueita hyödyksi saadaan luotua aluekohtaisia arvioita sateen aiheuttavasta vaimennuksesta, mitä käytetään hyödyksi laskettaessa linkkibudjettia kyseisen taajuusalueen siirtoyhteisille.



Kuva 4. MMW-125:n 60 cm:n antennin etäisyydet luokiteltuna ITU-R-sadealueiden mukaan [3, s. 7]

Kuvassa 4 kuvataan linkin toiminnan luotettavuus lukua suhteessa sääalueeseen ja siirtotien pituuteen. Toiminnan luotettavuudella tarkoitetaan prosentuaalista osuutta määrittelemättömästä ajanjaksosta, jolloin radiosiirtotie on toiminnassa.

Käyttämällä kuvien 3 ja 4 kaavioita voidaan päätellä Etelä-Suomen sateen aiheuttama vaimennus. Kuvassa 3 Etelä-Suomi kuuluu sadealueeseen E, jolloin kuvasta 4 voidaan katsoa, että ”neljän ysin” 99,99 %:n luotettavuudella toimivan linkin pituus olisi noin 5 km.

3 E-Band-teoria

3.1 Taajuusalue

Taajuusaluetta 71–76 GHz ja 81–86 GHz kutsutaan myös E-band-alueeksi.

FlexWave MMW-125 toimii tällä taajuusalueella, ja sen 10 GHz laaja taajuuskaista jaetaan symmetrisiin kaistoihin 2×5 GHz. Nämä kaistat on mahdollista jakaa pienempiin symmetrisiin kanaviin nousevassa ja laskevassa siirtosuunnassa. FlexWave MMW-125 käyttää 1,25 GHz:n kaistanleveyttä, jolloin päästään tiedonsiirtonopeuteen 1,25 Gb/s yksinkertaisillakin modulaatiolla (BPSK) ja tehokkaammilla (OC-192, STM-64) full duplex-nopeuksiin 10 Gb/s. Koska dataa ei tarvitse pakata pieniin taajuuskaistoihin, järjestelmä voidaan toteuttaa yksinkertaisella arkkitehtuurilla.

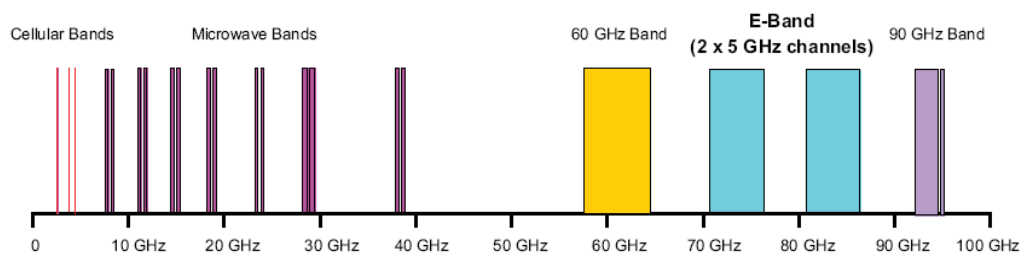


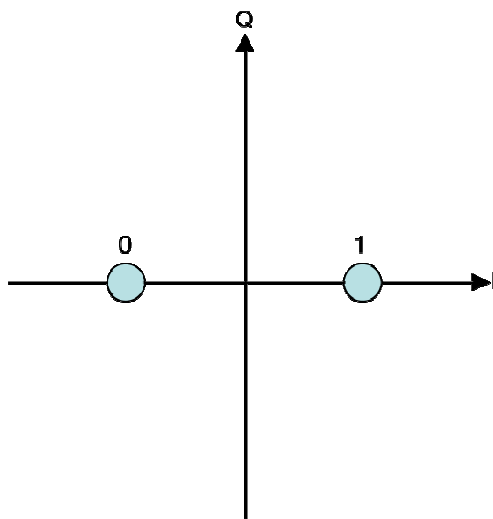
Figure 1: Significant USA frequency allocations

Kuva 5. E-Band taajuusjakauma. [3, s. 3]

Kuten kuvasta 5 näkyy, E-Bandille jaettu 10 GHz:n (2×5 GHz) kanava on huomattavasti suurempi kuin muille mikroaaltotaajuuksille jaetut kanavat yhteensä.

3.2 Modulaatio

FlexWave MMW 125 käyttää modulaationa BPSK (Binary Phase Shift Keying) -modulaatiota. Vaihemoduloinnissa moduloiva signaali muuttaa kantoaallon vaihetta, jonka avulla voidaan päätellä viestin arvo. BPSK moduloi kantoaaltoa ilmaisemaan binäärisen viestin arvoilla 0 tai 1. Vaihe ero näiden välillä on 180° , jolloin 1 on vaiheessa 0° ja 0 on vaiheessa 180° . Vaihemodulaatioissa lähetin ja vastaanotin on synkronisoitava, jotta ne tietäisivät kumpaa arvoa lähetetään. Yleinen tapa synkronisoida lähetin ja vastaanotin on lähettää nollavaiheista kantoaaltoa tietyn ajanjakson ajan, johon vastaanotin synkronoi itsensä, jolloin se tietää tämän vaiheen esittävän binääristä nollaa. Yhdessä symbolissa kuljetetaan yksi databitti, jolloin spektrintehokkuus on 1 b/s/Hz.



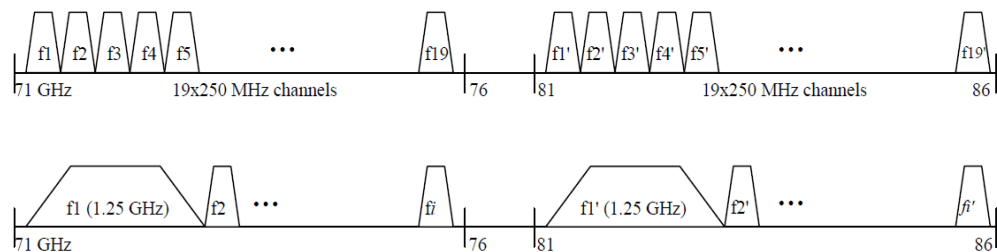
Kuva 6. BPSK-kaavio. [5]

FlexWave MMW 125-radiolinkissä BPSK:n hyödyt nousevat selvästi esille. Vaikka se onkin yksinkertainen modulaatio, niin sillä päästään suuriin siirtonopeuksiin, koska FlexWave käyttää suurta 1,25 GHz:n kanavaleveyttä. Tällä modulaatiolla ja kanavavälillä päästään tiedonsiirtonopeuteen 1,25 Gb/s.

Käyttämällä yksinkertaista modulaatiota päästään melko yksinkertaiseen arkkitehtuuriin radion komponenteissa, mikä laskee järjestelmän hintaa ja monimutkaisuutta sekä lisää luotettavuutta.

3.3 Kanavat

E-band käyttää 71–76 ja 81–86 GHz:n taajuuskaistoja kanavapareina FDD:n (Frequency Division Duplex) mukaan. Jokainen lähetinvastaanotin lähettää vain yhdellä taajuuskaistalla ja vastaanottaa toisella taajuuskaistalla. 5 GHz:n taajuuskaista muodostuu 19:stä 250 MHz:n kanavasta, joita voidaan vapaasti summata suuremmaksi (kuva 7). 5 GHz:n kanavalla on 125 MHz:n suojataajuus taajuusalueen ylä- ja alapäässä.



Kuva 7. Kanavien yhdistäminen ja erottelu taajuuksilla 71-76 ja 81-86 GHz. [2, s. 2]

Riippuen lisenssistä ja radion mallista kanavat voidaan yhdistää esimerkiksi yhdeksi 1,25 GHz:n kanavaksi tai yhdeksi 5 GHz:n kanavaksi. Kanavaparit tulee kuitenkin muodostaa niin, että ne vastaavat toisiaan lähetys ja vastaanottotaajuuskanavilla. Esimerkiksi 1,25 GHz:n lähetyskanava taajuuskanavalla 71–72,25 GHz käyttää kanavaparinään 1,25 GHz:n vastaanottokanavaa taajuuskanavalla 81–82,25 GHz.

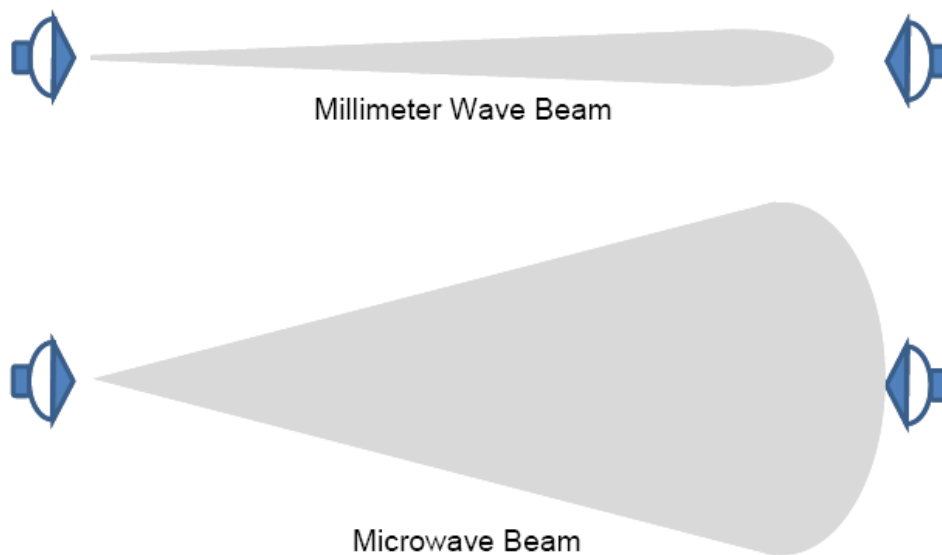
3.4 Ominaisuudet

E-Bandin taajuusalueen hyötyjä on sen kapea keila, joka myös asettaa vaatimuksia sen asentamiselle. Keilan leveys on 30 cm 43,8 dBi:n antennille $<0,9^\circ$ ja 60 cm 51 dBi:n antennille $<0,4^\circ$. Kapea keila on millimetriaaltotaajuuden ominaisuus, sillä

korkeataajuus on kääntäen verrannollinen keilan leveyteen. Mitä korkeampi taajuus, sitä kapeampi keila.

FlexWave MMW-125-lähetin tulee asentaa vakaalle alustalle, mikä saattaa sulkea pois tiettyjä mastotyyppisiä, joissa voi olla liian suuri tuulen aiheuttama huojunta. Kapean keilan suuntaaminen on haasteellisempaa kuin mikroaaltolinkeissä, ja liian hutera asennus alusta altistaa FlexWave MMW-125 -lähettimen huojunnalle, jolloin keila saattaa liikkua pois kohdistetusta vastaanottimen antennista ja katkaista linkkiyhteyden heikentäen linkin kokonaisluotettavuutta.

Myrskyt saattavat aiheuttaa myös käyttökatkoksia johtuen suurista tuulten nopeuksista, jotka aiheuttaa huojuntaa epävakaalla alustalla. Suositeltavia asennuspaikkoja ovatkin rakennusten seinät ja talojen katot ja muut tukevat alustat.



Kuva 8. Millimetriaallon ja mikroaallon keilat. [6, s. 5]

FlexWave MMW -125-lähettimen kapean keilan hyötyjän onkin pieni radiosignaalin ohivuoto, joka minimoi ympäristöön leviävän säteilyn, mikä vähentää häiriötä muille samaa taajuutta käyttäville linkeille.

Kapea keila mahdollistaa millimetriaaltolähettimien tiheän käytön pienilläkin alueilla. Käytettäessä samanlaisia antennia millimetriaaltoradiolähettimen keila taajuusalueella 70 GHz on jopa neljä kertaa kapeampi kuin 18 GHz:n mikroaaltolinkillä. Tämä

mahdollistaa jopa 16 kertaa tiheämmän E-Band linkkien käytön samalla taajama-alueella [6,4].

Tämän vuoksi millimetriaaltoradiolinkit soveltuvat kaksipiste-, tähti- sekä rengasverkkotopologioihin. Muut langattomat teknologiat kohtaavat esteen verkon skaalatuvuudessa johtuen muiden saman taajuisten lähettimien aiheuttamasta häiriöstä, mikäli niitä käytetään liian lähekkäin. Tämä rajoittaa edellä mainittujen verkkotopologioiden luontia muilla kuin hyvin kapeakeilaisilla lähettimillä.

4 Tehtävän kuvaus

Tässä insinööri työssä on tarkoitus tarkkailla TeliaSoneran rakentaman FlexWave MMW-125 -radiolinkin toimintaa ja Suomen sääolosuhteiden vaikutusta vaimennukseen. Tarkasteltava osa-alue on myös suojaus säältä, kuten rännältä ja lumelta. Suojauksessa tulisi ottaa huomioon, ettei itse suojaus heikennä signaalin tasoa.

Testien jälkeen tulisi selvittää, miten FlexWave MMW-125 -radiolinkki selviää Suomen talviolosuhteista ja tapahtuuko testiajanjakson aikana sääilmiöitä, jotka saattavat kaatamaan linkin tilapäisesti.

4.1 Sääolosuhteet

Yksi Suomen sääolosuhteiden haasteista talviaikana on räntäsade. Muut sääilmiöt, kuten vesisade, sumu ja lumisade, ovat tunnettuja, ja ne pystytään huomioimaan linkkibudjettia tehtäessä ottamalla tietty määrä vaimennusvaraa siirtoyhteyteen. Laskettaessa linkin laatua ja luotettavuutta oleellista onkin ottaa huomioon sääolosuhteet laskentaan niin, että linkkiyhteys ei katkea heti rankkasateen sattuessa kohdalle. Millimetriaaltoradioille on laskettu valmiiksi vaimennukset tietyille sademäärille ympäri maailmaa, jotta sen aiheuttama vaimennus voitaisiin ottaa huomioon linkkibudjetissa.

Räntäsade on ongelmallinen tekijä, koska märkä lumi tarttuu eri pintoihin ja luo kasautuessaan kerroksen, joka aiheuttaa vaimennusta signaaliin. Röntä- ja lumikerroksien käyttäytymisestä ja vaimennuksesta ei ole tarkkaa kuvausta millimetriaaltotaajuuksilla. Yksi osa työstä onkin ottaa huomioon rännän ja märän lumen vaikutus signaalin voimakkuudelle. Mikäli kasautunut lumikerros aiheuttaa liian suuren vaimennuksen ja linkkijänne katkeaa aina räntäsateen tai nollakelin aikana, tulee miettiä ratkaisuja rännän tarttumisen estämiseksi antennin pintaan.

Jää aiheuttaa myös ongelmia radiolinkin vaimennukseen. Jään sisälle jäänyt vesi aiheuttaa suurimman vaimennuksen. Vesi aiheuttaa vaimennusta E-band-taajuuksilla, ja keväällä kelien lämmitessä antenniin kertyneet jäät alkavat sulaa. Jään sulaessa syntyy jään sisälle vesitaskuja, jotka saattavat katkaista linkin toiminnan tilapäisesti.

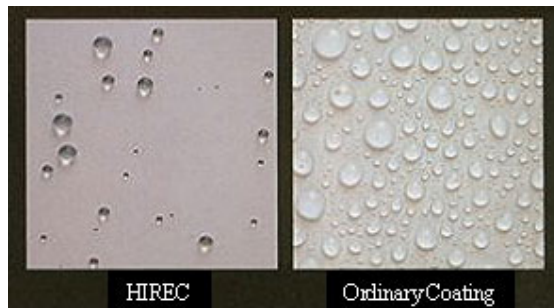
4.2 Suojaus säältä

Antennin suojaamiseen säältä on olemassa monia ratkaisuja. Yksi vaihtoehto on lämmitin, joka lisätään antennin pintaan. Lämmitin kytkeytyy toimintaan kylmällä säällä ja alkaa lämmittää antenniin pintaa niin, ettei märkä lumi siihen tartu eikä se jäädy. Lämmittimet tulee olla suunniteltu niin, etteivät ne aiheuta lisävaimennusta signaaliin tai niin että aiheutunut vaimennus on otettu huomioon linkkibudjetissa. Hyvän lämmittimen hinta liikkuu sadasta pariin sataan euroon ja Solid Signalilta löytyy sadan euron lämmitin, joka tarkkailee ilman lämpötilaa ja kytkeytyy toimintaan kylmällä säällä (kuva 9).



Kuva 9. Solid Signal Perfect Vision Hotshot Satellite Antenna Heating Element [10]

Toinen vaihtoehto lumen ja rännän tarttumisen estämiseksi on antennin pinnan käsittely materiaalilla, joka hylkii vettä. TeliaSoneralla rakennetussa linkissä on käytetty HIREC-pinnoitetta. Pinnoite ei aiheuta vaimennusta signaalille, ja se kestää noin vuoden, jonka jälkeen se tuleekin uusiksi. Kuvasta 10 huomataan ero HIREC pinnoitetun ja pinnoittamattoman pinnan veden hylkimisessä.



Kuva 10. HIREC [7]

5. Järjestelmäkuvaus

Linkkiyhteys toteutetaan ADC:n markkinoimilla FlexWave MMW-125 -linkkipäätteillä TeliaSoneran katolle. Linkin jänteen pituus on 70 m. Linkki käyttää taajuuskaistoja 71–76 GHz (uplink) ja 81–86 GHz (downlink) kanavaparina. Siirtotie on LOS (Line of Sight) -yhteys ja esteetön.

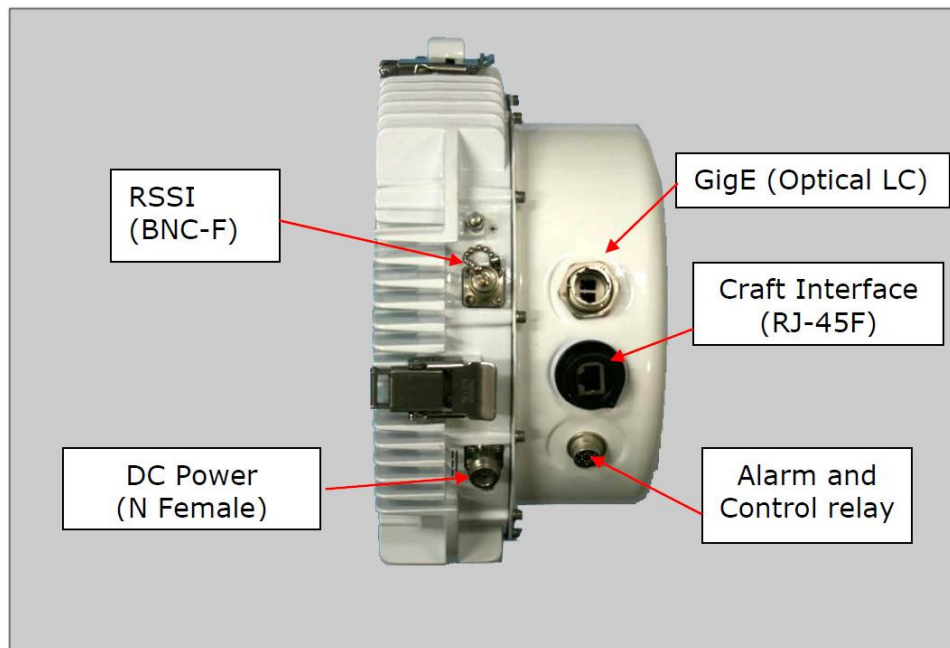
Järjestelmässä on kaksi radiota, antennit molemmissa päissä ja radioyksikössä kuituliitântä, kupariliitännät, RJ-45 GbE (Gigabit Ethernet) -liitântä datalle sekä erillinen RJ-45-liitântä laitteen hallintaan. Molemmilta yksiköiltä on vedetty RJ-45-kaapeli tietokoneelle, josta laitteita hallinnoidaan.

5.1 Laitekuvaus

5.1.1 Radio

Radio toimii taajuusalueella 71–76 GHz ja 81–86 GHz. Radio käyttää FDD (Frequency-Division Duplex) -taajuusjakoista duplexointia, jolloin lähetys- ja vastaanottokanavat on jaettu eri taajuuksiin nousevaan ja laskevaan siirtosuuntaan. Modulointina on DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying), jolla päästään datanopeuteen 1250 Mb/s. Tiedonsiirrossa käytetään Reed-Solomon-virheenkorjauskoodia.

5.1.2 Liityntärajäpinnat



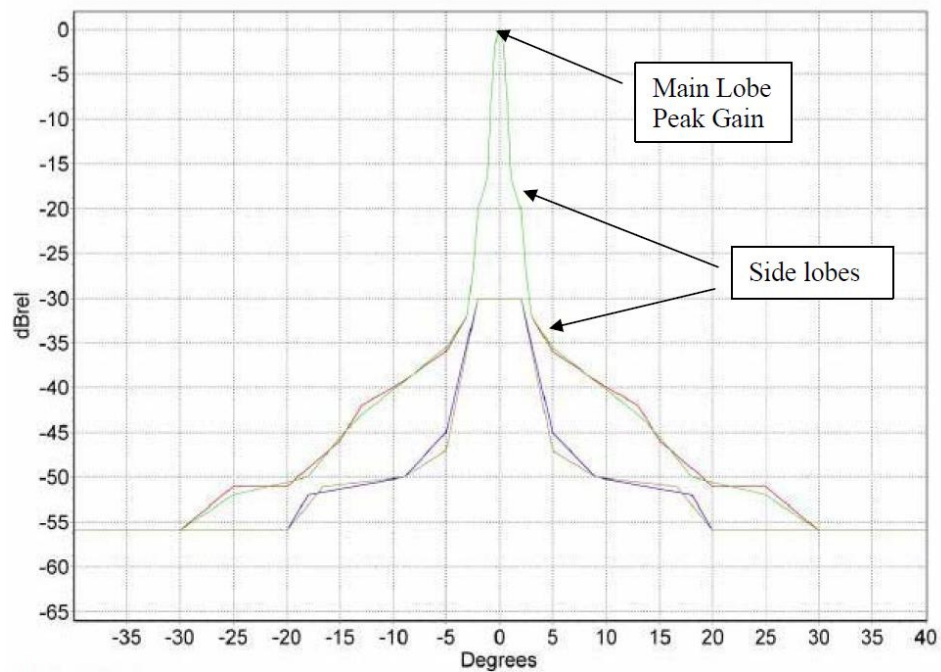
Kuva 11. FlexWave MMW-125 Radio-osan liittimet [8, s. 18]

Radiosta löytyy GigE (Optical LC) optisen kuidun liityntä yksimuotokuidulle (1310 nm) ja optiona monimuotokuituliityntä (850 nm). Craft Interface (RJ-45F) on tarkoitettu radion hallintaan Web (HTML) -liittymän kautta kannettavalla tietokoneella tai työasemalla. RSSI (Received Signal Strength Indicator) -porttiin liitetään BNC-F -liitin ja mitataan vastaanotetun signaalin tehotason (dBm). DC Power on virtalähde liittämä - 48VDC-tasavirtalähteelle (kuva 11).

5.1.3 Antenni

Antenni on 0,3 m halkaisijaltaan oleva parabolinen peiliantenni (MMW-ANT-1) (kuva 13). Antennin vahvistus on 43,8 dBi. Jänteen pääkeila on $0,9^\circ$ ja ensimmäinen sivukeila on $\pm 1,5^\circ$, joten sen suuntaaminen vaatii tarkkuutta.

Kuvasta 12 nähdään antennin säteilykuvio ja sivukaistojen hajautuminen.



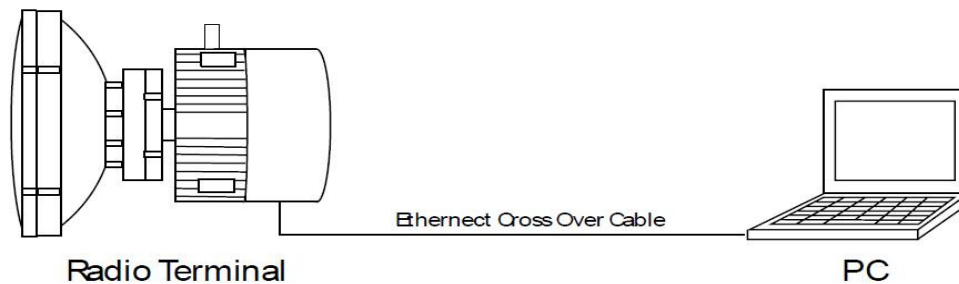
Kuva 12. 0,3 m antennin säteilykuvio ja sivukaistat [8, s. 37]



Kuva 13. MMW-125-antenni ilman suojakuorta.

5.1.4 Käyttöliittymä

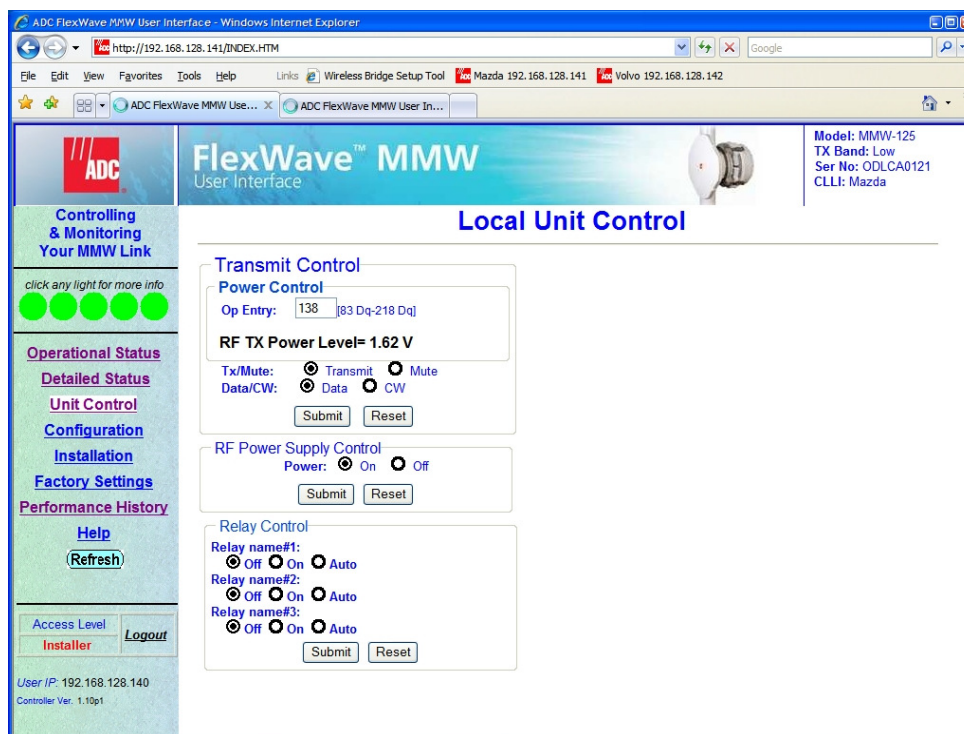
Radiolaitteessa on web-käyttöliittymä radion ja linkin tilan hallintaa sekä etäkäyttöä varten. FlexWave MMW-125:ssa toimii Craft Interface Embedded web based (HTML) server, jonka kautta hallinnointi hoidetaan.



Kuva 14. NMS-liitäntä [7, s. 6]

Radioyksikköön liitytään ristikytkentäisellä Ethernet-kaapelilla, mikäli se liitetään suoraan tietokoneeseen (kuva 14). Tämän jälkeen käyttäjän tulee antaa ip-osoite radioyksikölle. Web-käyttöliittymän kautta voidaan hoitaa suurin osa radiolinkin ylläpidosta, kuten laitteen hallinta, virhediagnostiikka ja testaus. Käyttöliittymän kautta voidaan muuttaa radioyksiköiden lähetystehoja, tiedonsiirtonopeuksia ja hälytystasoja (kuva 15).

Virhediagnostiikkaa voidaan hoitaa laitteen sisäisillä testeillä, joita voidaan käyttää web-käyttöliittymän kautta. Loopback-testissä siirtoyhteyden vastaanottopään radio laitetaan loopback-asetukselle, jolloin se lähettää saamansa datan takaisin lähettäjälle ja uudelleen lähetetyn datan perusteella vastaanottaja pystyy tarkkailemaan BER-arvoja ja datan eheyttä.



Kuva 15. Web-käyttöliittymän paikallisen yksikön hallintasivu

Heti käyttöliittymän aloitussivulta näkee linkin tilan viidellä led-kuvakkeella, jotka palavat vasemmassa pystypalkissa (kuva 16).

Kun kaikki led-kuvakkeet palavat vihreänä, linkin yhteys toimii normaalisti [9, s. 26].

The screenshot shows the ADC FlexWave MMW User Interface. The main content area displays the following information:

Local Unit Status is: *ONLINE*****

Tributary Input	●	SIGNAL OK
TX IF Lock	●	LOCKED
Transmit Power	●	1.62 V
LO Lock	●	LOCKED
RSSI	●	4.52 V

Below the status table, there are two sections for unit information:

Local Unit - Low Band	Remote Unit - High Band
CLLI: Mazda	CLLI: Volvo
WAN IP Addr: Invalid entry:Error	WAN IP Addr: Invalid entry:Error
LAN IP Addr: 192.168.128.141	
Uptime: 0d 0h 19m 37s	

At the bottom of the status section, it indicates **5 Alarms Pending** and the date/time: **Wed Jan 28 05:04:43 2009**.

Kuva 16. Web-käyttöliittymän pääsivu

5.3 Lisensointi

Suomessa kaikki radiolinkit vaativat lisensointia Viestintävirastolta. Viestintävirasto määrää häiriötarkastelun perusteella tekniset käyttöehdot, kuten radiolinkkilähettimen taajuuden ja polarisaation, jolla radiolinkkijänne toimii ilman haitallisia häiriöitä. E-band (71–76 GHz, 81–86 GHz) -taajuusalueen ollessa vielä uusi ei Viestintävirastolla ole suoraa kaavaa radioluvan hankkimiseksi.

Laki radiotaajuuksista ja telelaitteista rajaa suurimman taajuuden 3000 GHz:iin eikä sen yli meneville taajuuksille tarvita radiolupaa [11, 4 §]. Radiolaite lupa FlexWave MMW-125:lle saatiin Viestintävirastolta vedoten lain 1015/2001 pykälän 19 viimeiseen momenttiin tutkimus- ja kehitystoiminnasta. Ilmeisesti radiota ei saa tuoda maahan kaupallisiin tarkoituksiin, koska CE-merkintä ja vakuutus vaatimuksenmukaisuudesta puuttuvat. Lisenssin hankkiminen millimetriaaltotaajuuksille onnistuu normaalisti, jolloin lisenssiin lasketaan yhteen siirtosuuntien kaistat, joiden mukaan lasketaan maksu.

6 Testausympäristö

6.1 Laitteiden asennus

Linkkiä asentaessa tuli ottaa huomioon lyhyt linkkijänne. Jänteen pituus oli noin 70 m, mikä aiheutti ongelmia signaalin tason saamiseksi kohdalleen. Näin lyhyellä etäisyydellä signaalin tehotaso on helposti liian suuri, mikä saattaa vahingoittaa vastaanottopään laitteita, joten asennuksen yhteydessä oli lisättävä lisävaimennusta noin 20 dB:n verran.

Signaalin vaimennusta on mahdollista lisätä myös muuttamalla antennien polarisaatiota, jolloin vastaanottopää ei ole kohdakkain lähetyspään radioaaltojen polarisaation kanssa. Tästä syntyy epäsovitusta, joka laskee antennin polarisaatiohyötysuhdetta. Kohdakkain asettuessa antennien polarisaatiot sovituvat toisiinsa eikä vaimennusta synny. Vaimennuksen määrä riippuu lähettävän ja vastaanottavan antennin polarisaation muodostamasta kulmasta toisiinsa suhteen vaaka- tai pystytasossa.

Radiolinkin lisensointi Suomessa vaatii käytettyjen taajuuksien lisäksi tiedot myös asennuspaikasta ja linkin polarisaation. Tämän jälkeen polarisaation muuttaminen on vaikeampaa, koska lisenssi tulisi hankkia uudelleen uuden polarisaation mukaan.

Vaimennusta lisättiin Low-band-yksikön antenniin asentamalla vaimennuspehmusteita antennin radomin sisäpuolelle (kuva 17). Näillä tyynyillä saatiin aikaan 20 dB:n vaimennus lähetyspähän.



Kuva 17. Vaimennuspehmuste radomin sisäpinnalla

6.1.1 Suoritusarvot

Laitteita asentaessa käytettiin valmistajan laskentatyökalua lähtöarvojen saamiseksi (kuva 18).

FlexWave MMW Availability Calculator v7.4.1

Step 1: Select Tool Type **Single Location**
 Step 2: Select Mode of Operation **Country/State/City**
 Step 3: Enter data in green fields

ADC

State/Province/Country: **Finland**
 City: **Helsinki**
 Select Link Distance Unit of Measure: **Meters**
 Enter Link Distance: **70,00**
 Select Generation: **All Gens**
 Let Tool Pick the Best Antenna? **Yes**

Antenna Size Site 1: **ft (0.3m) Crosspol: Recommended**
 Antenna Size Site 2: **ft (0.3m) Crosspol: Recommended**
 Transmitter Output Power: **19,00 dBm**
 Rain Rate ITU-R for location: **20,4 mm/hr** **0,80 in/hr**
 Received Signal Level: **-30,83 dBm**

Beamwidth of receive signal @ Site 1: **0,49 m** **1,60 ft**
 Beamwidth of receive signal @ Site 2: **0,49 m** **1,60 ft**
 Fresnel Zone: **0,47 m** **1,54 ft**

Distance from Point A to Point B: **70,00 m** **0,04 mi**
 Point A: **Helsinki, Finland**

Polarization	Availability	
	Vertical	Horizontal
Based on Rain Rate for 0.01% R0.01 [mm/h] Model	Availability	Minutes of Outage per Year
FlexWave MMW-125	100,0000%	0,00

Confidential and Proprietary

Kuva 18. ADC:n FlexWave MMW siirtotien luotettavuuden laskintyökalu.

ADC:n lähettämät radiot toimivat FDD-lähetinpareittain, niin että toinen lähettää keskitaajuudella 73,0866 GHz ja toinen taajuudella 82,1136GHz. Radiot käyttivät kumpikin 2 GHz:n kaistan annetusta 5 GHz:n kaistastaan. Mazda käytti 2 GHz ja Volvo 2 GHz. Valmistajan mukaan suurin lähtöteho on 3 W. Low-band-yksikön lähetystehona oli 19,02 dBm ja vastaanottotaso -30 dBm. High-band-yksikön lähetystehona oli 17,06 dBm ja vastaanottotaso -26 dBm. Antennin vahvistus oli 43,8 dBi.

Lähettimissä oli molemmissa pystypolarisaatio, jota ei voinut muuttaa yhteyden lisensoinnin jälkeen, koska polarisaatio täytyy määrittellä radioluvassa. Linkkibudjetti laskettiin yhteydelle ja siinä otettiin huomioon kaikki suurimmat signaalin vaimennukseen vaikuttavat tekijät. Merkittävä vaimennus 70 m:n siirtotiellä oli vapaan tilan vaimennus, joka oli taajuudella 73 GHz:

$$L_{fsl} = 92.4 + 20\log 73GHz + 20\log 0.07Km = 106,5dB$$

Tämän jälkeen tuli vaimennus materiaali Low-band yksikön antennissa. Vaimentimesta ei ollut tarkkaa arvoa laskettu, mutta sen tulisi vaimentaa 20–24 dB:n verran lähetys- ja vastaanottavaa signaalia.

Seuraavalla laskukaavalla saatiin lähetys suunnan vaimennusvara.

Lähettimen teho + antennin vahvistus – vaimennusmateriaali – vapaantilan vaimennus + antennin vahvistus = vastaanotto tehotaso

$$17 \text{ dBm} + 43,8 \text{ dB} - 20 \text{ dB} - 106,5 \text{ dB} + 43,8 \text{ dB} = -21,9 \text{ dBm}$$

Vastaanottimen herkkyys oli -61 dBm, joten vastaanotetun signaalin ja herkkyysväliin jää:

$$-21,9 \text{ dB} - (-61 \text{ dBm}) = 39,1 \text{ dBm}$$

Siirtotiellä oli vaimennusvaraa 39,1 dB:n verran. Tämä on melko suuri vaimennus vara ja siksi linkin pituus voisi olla reilusti pitempi.

6.1.2 Sijainti

Radiolinkki on rakennettu testauskäyttöön TeliaSoneran toimesta Vantaan Vetokujan konttorin katolle. Low-band-yksikö, jolle annettiin nimeksi Mazda, asennettiin koordinaatteihin 60° 16' 7,22" pohjoista leveyttä ja 24° 52' 36,80" itäistä pituutta. High-band-yksikö, jolle annettiin nimeksi Volvo, asennettiin koordinaatteihin 60° 16' 5,06" pohjoista leveyttä ja 24° 52' 34,98" itäistä pituutta. Linkkijänteen pituudeksi saatiin 70 m.

6.1.3 Asennusalusta

Radiolinkin Low-band-yksikkö Mazda asennettiin pieneen mastoon, jossa on myös muita testissä olleita linkkejä. Masto seisoo kolmijalalla ja on kiinnitetty kattoon betonipainolla. Antenni on tarpeeksi tukeva näin lyhyellä linkkijänteellä ja tuulen vaikutus on minimaalinen (kuva 19).



Kuva 19. FlexWave MMW 125 Mazda

Linkin High-band-yksikkö Volvo asennettiin katolla

olevaan rakennuksen betoniseinään kiinnitettyyn tankoon. Yksikkö on suojassa tuulelta ja asennuspaikka on mahdollisimman tukeva, jotta huojunnalta vältyttäisiin (kuva 20).



Kuva 20. FlexWave MMW 125 Volvo

6.2 Ohjelmisto

Testauksessa käytettiin seuraavia käyttöliittymiä ja sovelluksia.

Käyttöliittymät:

- Fedora 10 Linux -palvelin
- Windows xp -työasema
- FlexWave User Interface

Ohjelmat:

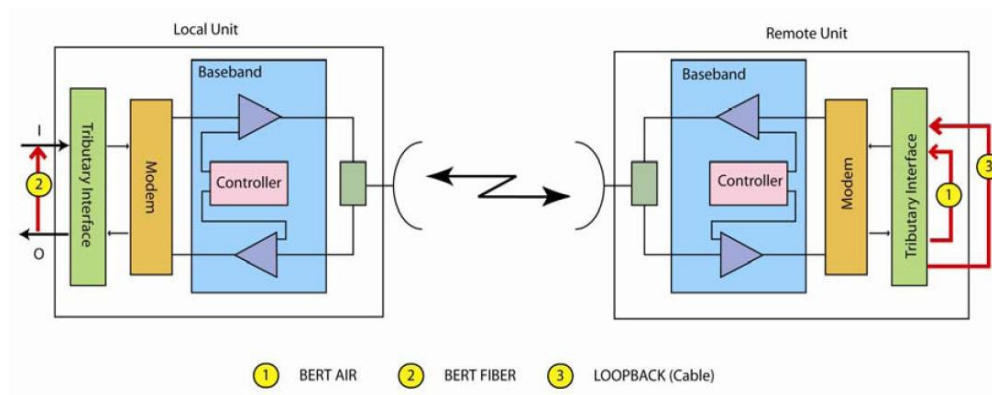
- Net-SNMP
- Gnuplot

Testausympäristön aineiston keräily toteutettiin Linux-palvelimella, jolle kerättiin kaikki mittaustulokset. Windows xp -työasema toimi alustana FlexWave User Interfacen käyttöön. Testaustulosten haussa käytettiin Net-SNMP-ohjelmapakettia, joka sisälsi myös snmp-get-komennon, jolla tehotaso haettiin radioyksiköiltä.

FlexWave User Interface -käyttöliittymä antaa mahdollisuuden valvoa ja ylläpitää FlexWave MMW-125 -radiota paikallisesti tai etäkäyttönä tietokoneelta. FlexWave User Interface on web-palvelinperäinen, ja siihen liitytään radion hallinnointiliittännän (NMS) kautta ristikytkentäisellä tai suorakytkentäisellä RJ-45-kaapelilla, jossa on Auto-MDI/MDI-X Ethernet -portti.

6.3 Testaustapa

Testaaminen suoritettiin kahden lähetinvastaanottimen välillä, jotka oli asetettu loopback- eli silmukointitestaukseen. Testauksessa High-band-yksikkö Volvo toimi loopback-lähtetimenä, joka otti vastaan kaiken Low-band-yksikön Mazdan lähettämän PRBS (PseudoRandom Binary Sequence) -datan ja lähetti sen takaisin Low-band-yksikölle (kuva 21). Mazda tarkkaili testin aikana takaisin saamia paketteja ja vertasi niitä lähetettyyn dataan, jolloin saatiin BER (Bit Error Rate) -arvo linkille. BER kuvastaa lähetysten aikana ”hukkuneita” bittejä ja on numeerinen arvo virheellisistä biteistä suhteessa lähetettyihin bitteihin. Mitattaessa saatiin viitteellinen BER tulos $1,4E-13$, joka vastaa arvoa 0,0000000000014, eli joka 14. terabitti sisältäisi virheellisen bitin.



Kuva 21. Diagnostiikka kaaviokuva [7, s. 32]

Loopback-testauksessa tulee testattua koko järjestelmä kaikkine komponentteineen, mutta sen huonona puolena on, että vian hakeminen on hankalampaa, sillä sitä täytyy lähteä etsimään koko järjestelmästä.

7 Mittaustulokset

Mittaustuloksien keräily tapahtui vuonna 2009 helmikuun ja maaliskuun välillä. Tänä aikana sääolosuhteet olivat hyvin vaihtelevia ja ilmanlämpötila oli nollan molemmin puolin. Nämä olosuhteet loivat mahdollisuuden räntäsateelle, vesisateelle ja jäälle melko nopeassa aikajaksossa. Testissä haettiin erityisesti rännän ja jään aiheuttamaa vaimennusta. Käytössä oli radiolinkin asennuspaikalla sääasema, josta saatiin hetkellinen ulkolämpötila, tuulen nopeus ja tuulen suunta. Antenneja myös kuvattiin videokameralla, joka otti kuvia parin minuutin välein antennien pinnasta. Yhdistämällä mittaustuloksia ja kuvaa ulkona vallitsevasta säätilasta voidaan päätellä vaimennuksen syitä.

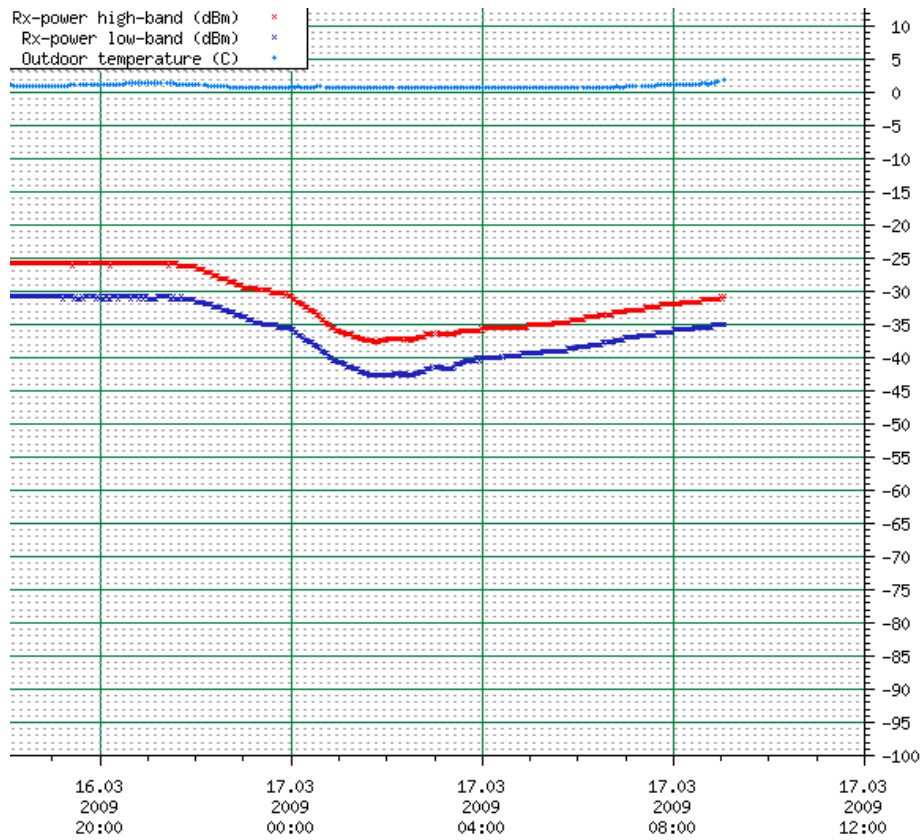
Mitattuja arvoja kerättiin SNMP (Simple Network Management Protocol) -kyselyillä verkon kautta. Radiolaitteita ja sääasemaa voidaan hallinnoida sekä monitoroida SNMP:n avulla. Radiolaitteilta haettiin SNMP-kyselyn avulla RSSI (Received Signal Strength Indicator) -arvo, joka kertoo vastaanotetun signaalin voimakkuuden jännitteenä. Tämän jälkeen tulos muutetaan jännitteestä tehotasoksi desibeleinä Linux-shellskriptillä, joka hakee vastaavat tehotason (dBm) jännitelukemille taulukosta. SNMP-tietojen mukana tulee myös aikatieto, joka liitetään tehotason mukaan. Nämä tiedot kerättiin tiedostoon viikon aikajaksoissa. Kerätyistä tiedostoista tehtiin kaavio Gnuplot-ohjelmalla, josta on helppo silmämääräisesti erottaa hetket, jolloin sääilmiö tai vika on aiheuttanut vaimennusta linkissä.

7.1 Normaaliosuhteet

Testin aikana lämpötila vaihteli nollan molemmin puolin ollen korkeimmillaan 6 °C ja matalimmillaan -11 °C. Mittausajanjakso oli 19.2.–10.4.2009.

7.2 Poikkeamia

Ensimmäinen merkittävä poikkeama tapahtui 16.3.2009 vastaisena yönä kello 21.30 alkaen. Tällöin alkoi sataa räntää, joka tarttui antennin pintaan. Sade jatkui 17.3.2009 kello 1.30 saakka, johon mennessä antennien vastaanottotehotaso oli laskenut Low-band-yksikössä Mazda 11,39 dB ja High-band-yksikössä Volvo 11,9 dB (kuva 22). Tämän jälkeen antennin pinnalle kertynyt räntä kerros alkoi irrota, mikä huomataan kuvasta tehotasojen hitaana nousuna. Koko sateen ajan ilman lämpötila pysyi hiukan nollan yläpuolella. Sääasemalta saatujen tietojen mukaan lämpötila klo 01.28 oli 0,8 °C ja tuulennopeus 3,8 m/s suuntaan 225,0°.



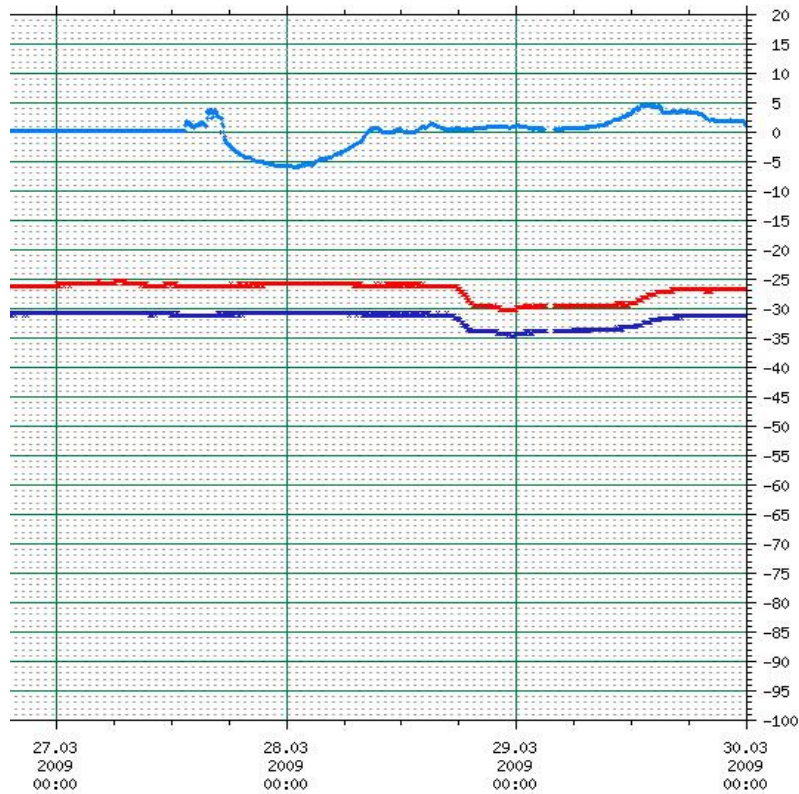
Kuva 22. Vastaanottimen tehotasot viikko12.

Huolimatta HIREC -pinnoitteesta räntä alkoi tarttua antennin pintaan sateen alettua. Pinnoite kuitenkin takasi rännän irtoamisen sateen lakattua, mikä auttoi linkin tilan palautumista (kuva 23).



Kuva 23. Kamerakuva High-band Volvo 17.3.2009 klo 01.23.13

Seuraava suuri vaimennus radiolaitteiden vastaanottotehotasoon oli 29.3.2009. Tuolloin ulkolämpötila kohosi 1,5 °C:een, mikä loi olosuhteet rännän muodostumiselle. Nopein vaimennus tapahtui 28.3.2009 kello 20.00–21.00 välillä, jolloin räntä alkoi tarttua antennin pintaan ja muodostui kerrokseksi. Vaimennus jatkoi kasvua 29.3.2009 kello 00.54 asti, jonka jälkeen radiolaitteiden vastaanottotehotaso alkoi palautua räntäsateen loputtua. Vaimennus huiput olivat 29.3.2009 kello 00.02 Low-band-yksikölle -3,46 dB ja High-band-yksikölle -3,64 dB (kuva 24).



Kuva 24. Vastaanottimen tehotasot viikko 13.

FlexWave MMW-125 -antenni on vasemmassa alakulmassa kuvassa 25.



Kuva 25. Kamerakuva Low-band Mazda 29.3.2009 klo 00.01.48

8 Yhteenveto

Tässä opintäytetyössä selvitettiin FlexWave MMW-125 millimetriaaltoradion soveltuvuutta Suomen sääolosuhteisiin talviaikaan. Työn tavoitteena oli tuoda esille sääilmiöt, jotka vaikuttavat eniten radiolinkkisiirtotien vaimennukseen ja tulisi ottaa siten huomioon radiolinkin suunnittelussa ja linkkibudjetin laskemisessa.

Työ oli haastavaa ja vaati paljon itseopiskelua aiheesta. Opin työn aikana paljon uutta millimetriaalloista ja FlexWave MMW-125 -järjestelmästä. Varsinaisen testausvaiheen aloittaminen kesti hieman kauempaan kuin alun perin odotettiin, sillä testauksessa oli ongelmana liian lyhyt linkkijänne, jolloin ei saatu tarpeeksi vaimennusta vastaanottimiin ja High-band-pääte joutui saturaatiotilaan ja vaurioitui. Linkkiyhteys saatiin kuitenkin toimimaan myöhemmin lisäämällä ylimääräistä vaimennusta siirtotielle vaimennustyynyillä, jotka sijoitettiin High-band-yksikön radomin sisäpuolelle.

Testin aikana kerättiin materiaalia radiolinkin tilasta ja tehtiin johtopäätökset vaimennuksesta ja sen syistä. Radioyhteys säilyi eheänä koko testausjakson ajan, eikä katkoksia tai ongelma-tilanteita ilmennyt. Suurimmaksi vaimennuksen aiheuttajaksi havaittiin antennin pintaan kertynyt räntä. Räntä aiheutti suurimmillaan 11,9 dB vaimennusta vastaanottosignaalin tehotasoon. Tämä ei itsessään ole riittävä määrä linkkiyhteyden katkeamiselle, sillä pelkästään laskennallinen häipymävara oli 39,1 dB, joten jäljelle jäi vielä 27,2 dB vahvistusta, mutta tulos on osoitus siitä, että rankempi räntäkuuro ja suotuisat sääolosuhteet räntä- tai jääkerroksen kertymiselle voivat olla tuhoisia linkkiyhteydelle. Millimetriaaltosiirtotietä suunniteltaessa tulisikin varautua vähintään 11,9 dB:n vaimennukseen räntäsateen osalta ja laskea se mukaan vaimennusvaraan muiden vaimennusta aiheuttavien sääilmiöiden kanssa.

Testijakson aikana ei sattunut kovin rankkoja räntä- tai lumisateita ja siksi voidaankin sanoa, että testitulokset ovat suuntaa antavia. Työn tuloksena saatiin vahvistus jo aiemmin olleelle oletukselle, että räntä aiheuttaa suurimman vaimennuksen talviolosuhteissa, sekä kartoitettiin vettä hylkivän pinnoitteen vaikutusta räntän tarttumiseen ja irtoamisnopeudelle.

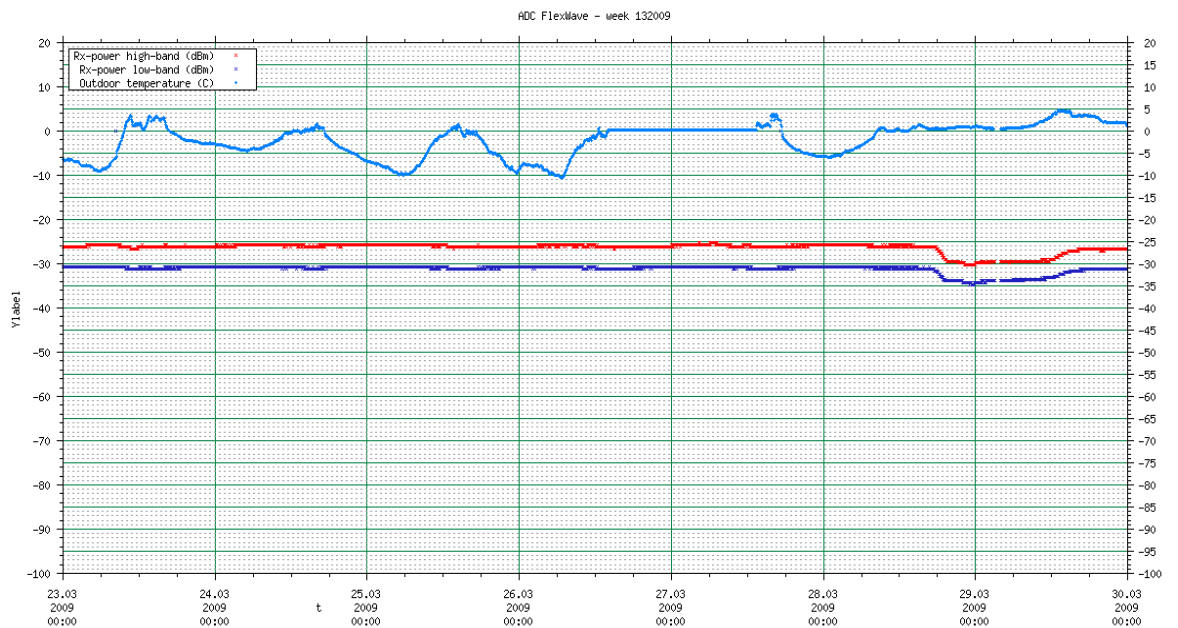
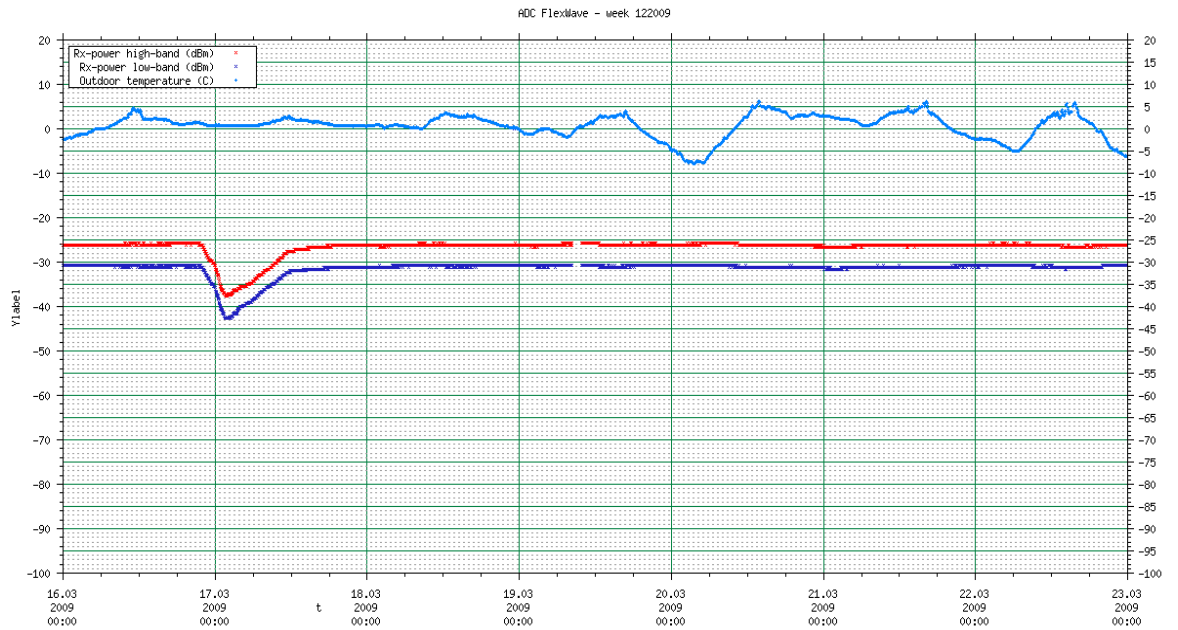
HIREC -pinnoitteella oli lievä vaikutus rännän tarttumisen estämiselle, mutta se ei estänyt tarttumista kokonaan. Räntäsateen lakattua voitiin mittaustuloksista havaita vastaanotto tehotason palautuminen normaali tilaan mitä HIREC pinnoite edistikin. Pahimmassa tapauksessa räntäkerros ei irtoaisikaan vaan keräisi vielä lisää räntää antennin pinnalle, jolloin vaimennus saattaisi käydä liian suureksi ja lumen paino saattaisi aiheuttaa rakenteellisia vaurioita linkkipäätteelle.

Työn tavoitteet saavutettiin. Tämän työn avulla saa peruskäsityksen millimetriaaltojen luonteesta ja sovellusten kohteesta. Työ tarjoaa apua millimetriaaltolinkkiä suunnittelevalle ja lähtökohdat säältä suojautumiselle.

Lähteet

- 1 Roger L. Freeman. Radio system design for telecommunications. Third edition. John Wiley & Sons, Inc: Hoboken, New Jersey 2007
- 2 Millimeter-Wave E-Band Radio (PDF-dokumentti.) U.S. Army Information Systems Engineering Command (USAISEC). <www.hqisec.army.mil/isec/publications/Millimeter_Wave_EBand_Radio_May06.pdf>. 2006. Luettu 2.9.2009.
- 3 E-Band Wireless Technology White Paper. 2008. (PDF-dokumentti.) ADC Telecommunications, Inc. <<http://www-wsp.adc.com/>>. Luettu 11.12.2008.
- 5 Phase-shift keying. 2009. Wikipedia. (WWW-dokumentti.) <<http://en.wikipedia.org/wiki/QPSK>>.2009. Luettu 12.3.2009.
- 6 Understanding Millimeter Wave Wireless Communication. 2008. (PDF-dokumentti.) Loea Corporation, San Diego. <http://www.loecom.com/L1104-WP_Understanding%20MMWCom.pdf>. Luettu 13.1.2006.
- 7 HIREC-A Super Water-Repellent Material. 2007. (WWW-dokumentti.) NTT Advanced Technology Corporation. <http://www.ntt-at.com/products_e/hirec/index.html>. Luettu 5.3.2009.
- 8 ADC FlexWave MMW-125 Millimeter Wave Link Installation Manual. 2008. (PDF-dokumentti.) ADC Telecommunications, Inc. <<http://www-wsp.adc.com/>>. Luettu 13.1.2009.
- 9 ADC FlexWave MMW-125 Millimeter Wave Link User Interface Manual. 2008. (PDF-dokumentti.) ADC Telecommunications, Inc. <<http://www-wsp.adc.com/>>. Luettu 13.1.2009.
- 10 Solid Signal Perfect Vision Hotshot Satellite Antenna Heating Element - 24 Inch Dish. 2008. (WWW-dokumentti.) Solid Signal. <http://www.solidsignal.com/prod_display.asp?PROD=SHS24NGRFBKIT>. Luettu 13.3.2009.
- 11 Laki radiotaajuuksista ja telelaitteista 16.11.2001/1015. (WWW-dokumentti.) Finlex.<<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20011015>>. Luettu 13.4.2009

Liite1: Mittaustulokset viikoilta 12/2009 ja 13/2009



Liite2: Mittaustulokset viikolta 14/2009

