



# ANTENNIDIVERSITEETIN TOTEUTUS JA TESTAUS 2,45 GHZ:N RADIOMODUULIIN

Ari Hanhela  
2011  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# ANTENNIDIVERSITEETIN TOTEUTUS JA TESTAUS 2,45 GHZ:N RADIOMODUULIIN

Ari Hanhela  
Opinnäytetyö  
Kevät 2011  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka, mittaus- ja testausjärjestelmät

---

Tekijä: Ari Hanhela

Opinnäytetyön nimi: Antennidiversiteetin toteutus ja testaus 2,45 GHz:n radio-moduuliin

Työn ohjaaja: Veijo Korhonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2011

Sivumäärä: 45 + 1

---

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikkö. Insinöörityö oli jatkotutkimusta Juha Väänäsen insinöörityölle Tehonjakaja 2,45 GHz:n taajuudelle.

Opinnäytetyössä tutkittiin antennidiversiteetin vaikutuksia 2,45 GHz:n taajuudella toimivissa langattomissa radiolähettimissä ja -vastaanottimissa. Työn tavoitteena oli parantaa langattoman radioyhteyden luotettavuutta ja toimintaetäisyyttä NLOS-radioyhteyksissä. Antennidiversiteetin toteuttamiseen käytettiin Juha Väänäsen suunnittelemaa Wilkinson- ja reletehonjakajaa.

Työssä hyödynnettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun kirjaston tietokantaa sekä internetistä saatuja sähköisiä aineistoja. Mittausten perustana oli kenttätestaus, joka suunniteltiin ulkotiloihin. Mittauksissa tutkittiin radiosignaalin RSSI-arvon muutosta mittausetäisyyden kasvaessa suoralla näköyhteysreitillä ja esteellisellä reitillä. Työn mittauslaitteistona käytettiin Nanotron NanoLOC Development Kit -työkaluja sekä tietokonetta mittaustulosten keruuseen.

Insinöörityön saaduista mittaustuloksista selviää antennidiversiteetin hyöty radioyhteyden toimintasäteessä. Wilkinson-tehonjakajalla toteutetulla antennidiversiteetillä saatiin 150 prosentin hyöty ja reletehonjakajalla 200 prosentin hyöty.

---

Asiasanat: antennit, radioaallot, langaton tekniikka

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ .....	1
SISÄLTÖ .....	2
KÄYTETYT LYHENTEET .....	4
1 JOHDANTO.....	5
2 RADIOSIGNAALIN ETENEMINEN .....	6
2.1 Radiosignaalin aallonpituus .....	6
2.2 Radiosignaalin vaimeneminen .....	7
2.3 Suora näköyhteysreitti .....	8
2.4 Polarisatio .....	10
2.5 Heijastuminen ja absorptio .....	11
2.6 Sironta .....	15
2.7 Taipuminen .....	15
2.8 Monitie-eteneminen .....	16
2.9 Häipyminen.....	17
3 ANTENNIDIVERSITEETTI.....	19
3.1 Antennitekniikat .....	19
3.1.1 Paikkadiversiteetti .....	19
3.1.2 Polarisatiodiversiteetti .....	20
3.1.3 Kuviodiversiteetti .....	21
3.2 Valintamenetelmät .....	22
3.2.1 Passiivinen summaus .....	22
3.2.2 Valinta- ja kytkinmenetelmä .....	23
3.2.3 Yhtä suurten vahvistuksien yhdistäminen ja maksimisuhteiden yhdistäminen .....	24
4 NANOTRON NANOLOC DEVELOPMENT KIT .....	26
4.1 NanoLOC DK -levy .....	26
4.2 Vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoitin .....	27
5 TEHONJAKAJAN KÄYTÖN MERKITYS .....	29
5.1 Wilkinson-tehonjakaja.....	29
5.2 Reletehonjakaja .....	29
5.3 Esimerkkitalanne tehonjakajan käytöstä .....	30
6 MITTAUKSET .....	32
6.1 Menetelmät.....	32

6.2 Tulokset .....	37
6.3 Päätelmiä.....	40
7 YHTEENVETO .....	43
LÄHTEET .....	44

## LIITE

LIITE 1. NanoLOC DK -levyn viitetiedot

## KÄYTETYT LYHENTEET

dB	Desibeli
Hz	Hertsi
ISM	Maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista (industrial, scientific and medical)
LOS	Suoranäköyhteysreitti (line of sight)
NLOS	Esteellinen yhteysreitti (non-line of sight)
RSSI	Vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoitin (received signal strength indicator)
SNR	Signaali-kohinasuhde (signal-to-noise-ratio)
UHF	Taajuusalue 0,3–3 GHz (ultra high frequency)
USB	Sarjaväyläarkkitehtuuri (universal serial bus)
VHF	Taajuusalue 30–300 MHz (very high frequency)

# 1 JOHDANTO

Radiosignaalin ominaisuuksien ja etenismuotojen tietäminen on perustana antennidiversiteetin ymmärtämiselle. Työssä perehdytään radiosignaalin etenismuotoihin ja niiden vaikutuksiin monitie-etenemisessä. Antennidiversiteetti on yksi käytetyistä diversiteettimenetelmistä, joilla pyritään parantamaan radioyhteyden luotettavuutta. Muita käytössä olevia diversiteettimenetelmiä ovat esimerkiksi aika-, taajuus- ja polarisaatiodiversiteetti.

Työssä toteutetaan mittaukset suoralle näköyhteysreitille (LOS) ja esteelliselle reitille (NLOS). Esteellisille mittauksille toteutetaan antennidiversiteetti tehonjakajien avulla. Työssä käytetään kahden tyyppisiä tehonjakajia, Wilkinson- ja reletehонjakajaa. Antennidiversiteettiä hyödynnetään etäisyysmittauksissa, joissa vastaanotin on koehenkilössä kiinni. Tavoitteena on parantaa langattoman radioyhteyden luotettavuutta ja toimintaetäisyyttä NLOS-radioyhteyksissä. Työn mittauksissa hyödynnetään vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoitinta (RSSI).

## 2 RADIOSIGNAALIN ETENEMINEN

Radiosignaalin kulkuun liittyy ominaisuuksia, jotka tulee ottaa huomioon perustettaessa radioyhteyttä lähettimen ja vastaanottimen välille. Esimerkkinä voidaan käyttää ihmisen näköä, joka kuvaa hyvin radiosignaalin käyttäytymistä siinätiloissa. Ihminen voi nähdä verhon läpi esineen hämärästi eli samassa tapauksessa radiosignaali läpäisee esteen, mutta vaimenee matkalla. Jos paikassa on peilaavia pintoja, ihmisen silmä voi erottaa esineen esteiden takaa. Yhteys on samankaltainen kuin radiosignaalilla, mutta on huomioitava, että radiosignaalin ominaisuudet muuttuvat heijastuksissa. (Räisänen – Lehto 2007, 186.)

### 2.1 Radiosignaalin aallonpituus

Radiosignaalin aallonpituus on tärkeä tietää, kun mietitään sen etenemisominaisuuksia eri taajuuksilla. Otetaan esimerkkinä VHF- ja UHF-taajuudet, joiden aallonpituuksia hahmottamiseen nähdään taulukosta 1 ja aallonpituus voidaan laskea kaavalla 1. (Graham – Kirkman – Paul 2007, 39.)

*TAULUKKO 1. Aallonpituudet VHF- ja UHF-taajuuksilla (Graham ym. 2007, 39)*

Frequency (MHz)	Wavelength (m)
3	100.00
30	10.00
100	3.00
300	1.00
500	0.60
800	0.38
1000	0.30
2000	0.15
3000	0.10



### *KAAVA 1. Radiosignaalin aallonpituuden laskentakaava*

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$c$  = valonnopeus

$f$  = taajuus

## **2.2 Radiosignaalin vaimeneminen**

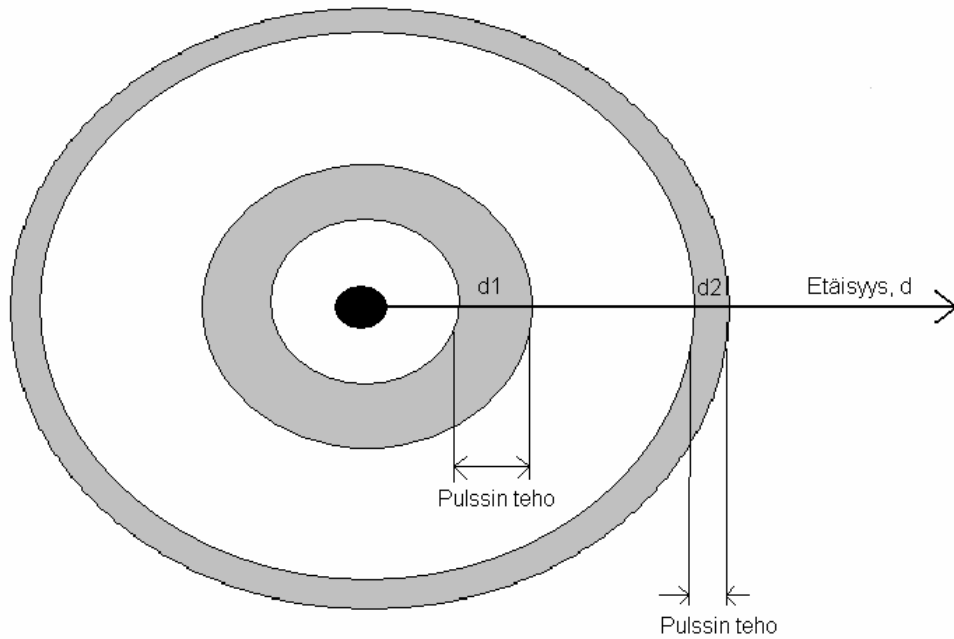
Radiosignaalin vaimeneminen riippuu käytetystä taajuudesta ja siirtotiestä. Langattomissa järjestelmissä radiosignaalin vaimentuminen voidaan laskea kaavalla 2. Vaimeneminen tapahtuu etäisyyden neliössä kuvassa 1 esitetyllä tavalla. Kuvan harmaan alueen paksuus kuvaa radiosignaalin pulssin tehoa eri etäisyyksillä keskipisteestä. Lähempänä keskipistettä pulssin teho on suurimmillaan ja etäisyyden kasvaessa ulkokehä laajenee, mikä vaikuttaa radiosignaalin pulssin tehon hiipumiseen. Radiosignaali etenee näin äärettömästi. Mitä kauempana keskipisteestä ollaan, sitä enemmän on olemassa olevaa lähetystehoa käytetty laajemmalla alueella. (Granlund 2001, 13–14.)

### *KAAVA 2. Radiosignaalin vaimeneminen vapaassa tilassa*

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

$d$  = etäisyys

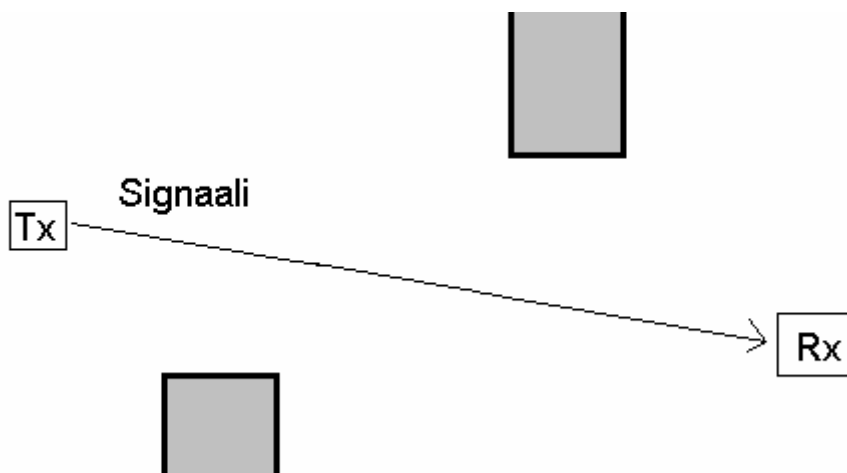
$\lambda$  = aallonpituus



KUVA 1. Radiosignaalin vaimeneminen etäisyyden neliössä

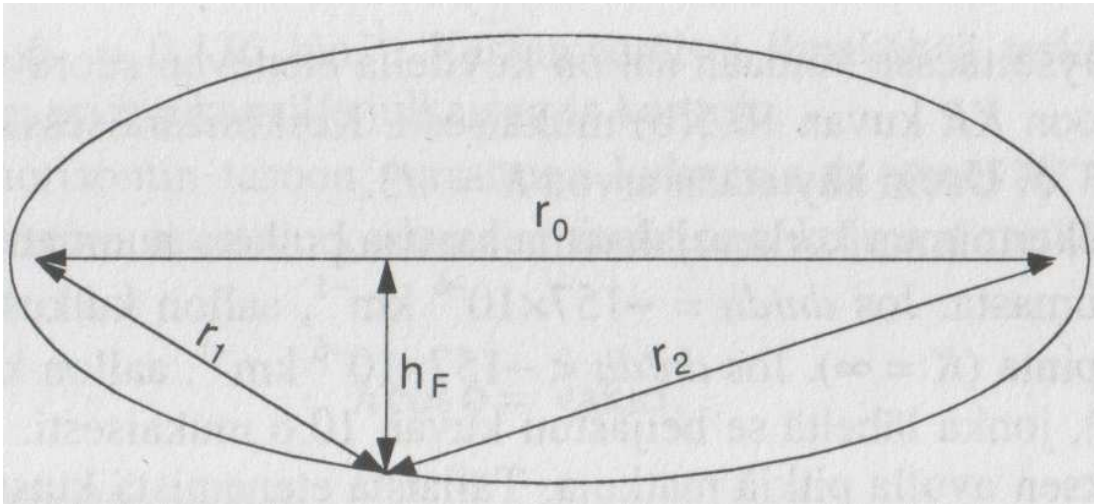
### 2.3 Suora näköyhteysreitti

Paras tapa saada radioyhteys lähettimen ja vastaanottimen kanssa on suora näköyhteysreitti lähettimen ja vastaanottimen välillä. Matalat taajuudet läpäisevät esteitä helpommin kuin korkeat taajuudet. Seurauksena signaali vaimentuu ja syntyy häviöitä. (Kuva 2.)



KUVA 2. Suora yhteys lähettimen ja vastaanottimen välillä

Suoraa näköyhteysreittiä lähettimen ja vastaanottimen välillä kutsutaan myös termillä line of sight eli LOS. Fresnelin teorian mukaan vapaa tila suoran yhteyden luomiseen voidaan laskea Fresnelin ellipsoidin avulla (kuva 3). Tarvittavan vapaan tilan laskeminen ensimmäiselle Fresnelin ellipsoidille onnistuu kaavalla 3 ja sen säde voidaan laskea kaavalla 4. (Räisänen – Lehto 2007, 191.)



*KUVA 3. Fresnelin ellipsoidi (Räisänen – Lehto 2007, 192)*

*KAAVA 3. Fresnelin ellipsoidin säteen laskentakaava*

$$r_1 + r_2 - r_0 = \frac{\lambda}{2}$$

$\lambda$  = aallonpituus

$r_0$  = suora etäisyys

$r_1$  = etäisyys lähetyspisteestä

$r_2$  = etäisyys vastaanottopisteestä

#### *KAAVA 4. Fresnelin ellipsoidin säteen laskentakaava*

$$h_F = \sqrt{\frac{\lambda r_1 r_2}{r_1 + r_2}}$$

$h_F$  = Fresnelin ellipsoidin säde

$\lambda$  = aallonpituus

$r_1$  = etäisyys lähetyspisteestä

$r_2$  = etäisyys vastaanottopisteestä

### **2.4 Polarisaatio**

Polarisaatiota voidaan kuvailla vektoreilla, jotka kertovat polarisaation suunnan ja amplitudin tietyllä ajan hetkellä. Yhden värähtelyjakson  $T = 1/f$  aikana voidaan piirtää geometrinen kuva vektorin kuvitellusta kärjestä. Matemaattisella kaavalla asiaa voidaan esittää kahden toisiaan vastaan kohtisuoran komponentin summana (kaava 4). (Räisänen – Lehto 2007, 27.)

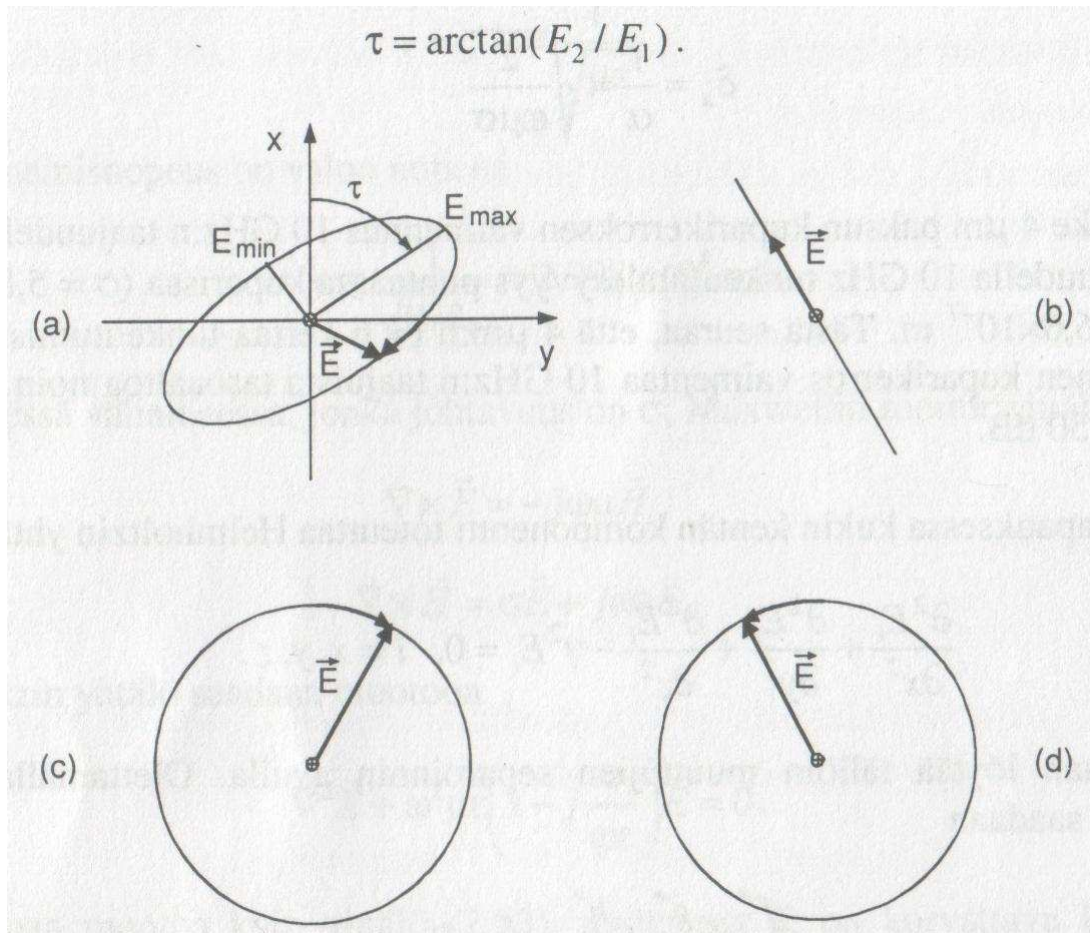
#### *KAAVA 4. Polarisaation esittäminen suuntavektoreilla*

$$\vec{E} = (E_1 \vec{u}_x + E_2 \vec{u}_y) e^{-jkz}$$

$\vec{u}_x$  = x-akselin suuntainen yksikkövektori

$\vec{u}_y$  = y-akselin suuntainen yksikkövektori

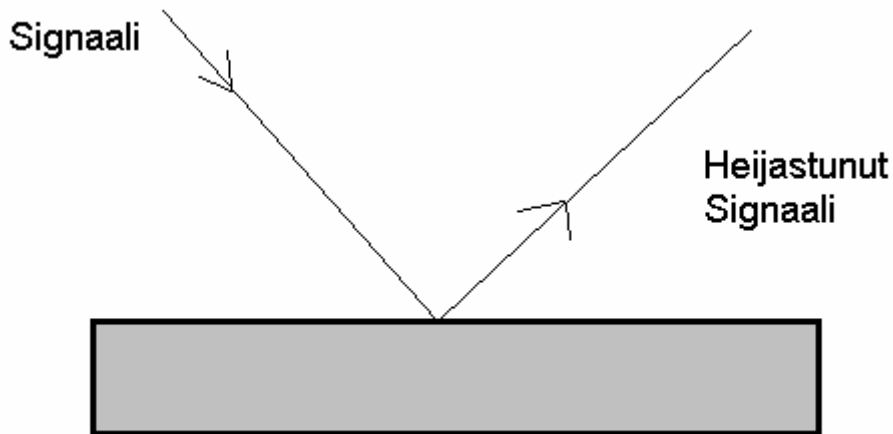
Kuvan 4 kohdassa a on elliptisesti polarisoitunut aalto, jota kuvataan suhteella  $E_{max} / E_{min}$ , kallistuskulmalla  $\tau$  ja kiertosuunnalla. Elliptisen polarisaation lisäksi voi olla myös lineaarinen ja ympyräpolarisaatio (kuva 4). Kun  $E_1 \neq 0$  ja  $E_2 = 0$ , on aalto polarisoitunut lineaarisesti x-suuntaan. Kun  $E_1 \neq 0$  ja  $E_2 \neq 0$ , mutta ne ovat reaalisia lukuja, on polarisaatio lineaarinen. (Räisänen – Lehto 2007, 28.)



KUVA 4. Sähkökentän polarisaatio: (a) elliptinen polarisaatio, (b) lineaarinen polarisaatio, (c) oikeankätinen ympyräpolarisaatio, (d) vasenkätinen ympyräpolarisaatio (Räisänen – Lehto 2007, 28)

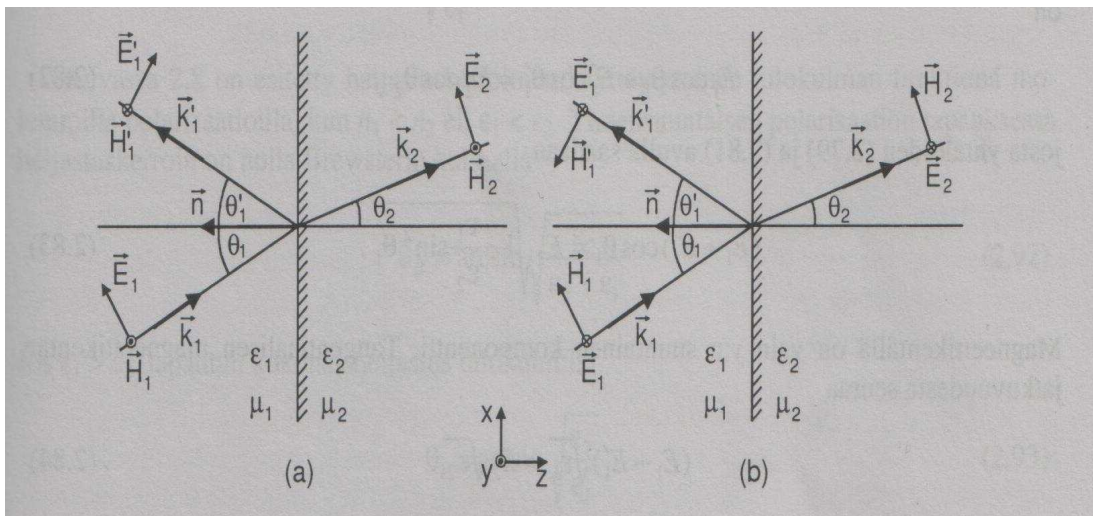
## 2.5 Heijastuminen ja absorptio

Radioaalto heijastuu törmättyään pintaan, jonka suuruus on isompi kuin radioaallon aallonpituus. Radioaallon suunta, suuruus, vaihe ja polarisaatio muuttuvat heijastavan pinnan materiaalin ja muodon mukaan. (Kuva 5.) (Struzak 2006, 45.)



KUVA 5. Radiosignaalin heijastuminen

Rajapinnassa heijastumista ja läpäisyä tasosta voidaan hahmottaa kuvalla 6. Radioaalto tulee aineesta 1 ja osuu aineeseen 2, siitä osa heijastuu ja osa läpäisee rajapinnan.



KUVA 6. Taso-aallon heijastus ja läpäisy: (a) yhdensuuntainen polarisaatio, (b) kohtisuora polarisaatio (Räisänen – Lehto 2007, 29)

Jos ajatellaan aineet häviöttömäksi, rajapinta on tasossa  $z = 0$  ja etenemissuuntainen vektori  $\vec{k}_1$  on  $xz$ -tasossa. Jos tulevan, heijastuvan ja läpäisevän aallon vaiheet muuttuvat samalla tavalla  $x$ -suunnassa, ovat tangentialikomponentit samat kaikissa  $z = 0$  -pisteissä rajapintaehtojen mukaisesti. Tästä seu-

raa, että  $\theta'_1 = \theta_0$ . Läpimenevän aallon kulma voidaan laskea kaavalla 5. (Räisänen – Lehto 2007, 29.)

*KAAVA 5. Läpäisykulman laskentakaava*

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \sqrt{\frac{\mu_1 \varepsilon_1}{\mu_2 \varepsilon_2}}$$

$\theta_1$  = tulevan aallon kulma

$\theta_2$  = läpäisevän aallon kulma

$\mu_1$  = aineen 1 permeabiliteetti

$\mu_2$  = aineen 2 permeabiliteetti

$\varepsilon_1$  = aineen 1 permittiivisyys

$\varepsilon_2$  = aineen 2 permittiivisyys

Yhdensuuntaisesti polarisoituneen aallon heijastuskertoimen  $\rho_{\parallel}$  voidaan laskea kaavalla 6 ja läpäisykerroin  $\tau_{\parallel}$  kaavalla 7 (Räisänen – Lehto 2007, 30).

*KAAVA 6. Yhdensuuntaisesti polarisoituneen aallon heijastuskertoimen*

$$\rho_{\parallel} = \frac{E'_1}{E_1} = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - \sin^2 \theta_1} - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cos \theta_1}{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} - \sin^2 \theta_1} + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cos \theta_1}$$

$\varepsilon_1$  = aineen 1 permittiivisyys

$\varepsilon_2$  = aineen 2 permittiivisyys

$\theta_1$  = tulokulma

$E_1$  = tuleva kenttä

$E'_1$  = heijastunut kenttä

*KAAVA 7. Yhdensuuntaisesti polarisoituneen aallon läpäisykerroin*

$$\tau_{\parallel} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{2\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \cos \theta_1}{\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta_1} + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \cos \theta_1}$$

$\epsilon_1$  = aineen 1 permittiivisyys

$\epsilon_2$  = aineen 2 permittiivisyys

$\theta_1$  = tulokulma

$E_1$  = tuleva kenttä

$E_2$  = läpäissyt kenttä

Kohtisuoraan polarisoituneen aallon heijastuskerroin  $\rho_{\perp}$  voidaan laskea kaavalla 8 ja läpäisykerroin  $\tau_{\perp}$  kaavalla 9 (Räisänen – Lehto 2007, 31).

*KAAVA 8. Kohtisuoraan polarisoituneen aallon heijastuskerroin*

$$\rho_{\perp} = \frac{\cos \theta_1 - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta_1}}{\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta_1} + \cos \theta_1}$$

$\epsilon_1$  = aineen 1 permittiivisyys

$\epsilon_2$  = aineen 2 permittiivisyys

$\theta_1$  = tulokulma

*KAAVA 9. Kohtisuoraan polarisoituneen aallon läpäisykerroin*

$$\tau_{\perp} = \frac{2 \cos \theta_1}{\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta_1} + \cos \theta_1}$$

$\epsilon_1$  = aineen 1 permittiivisyys

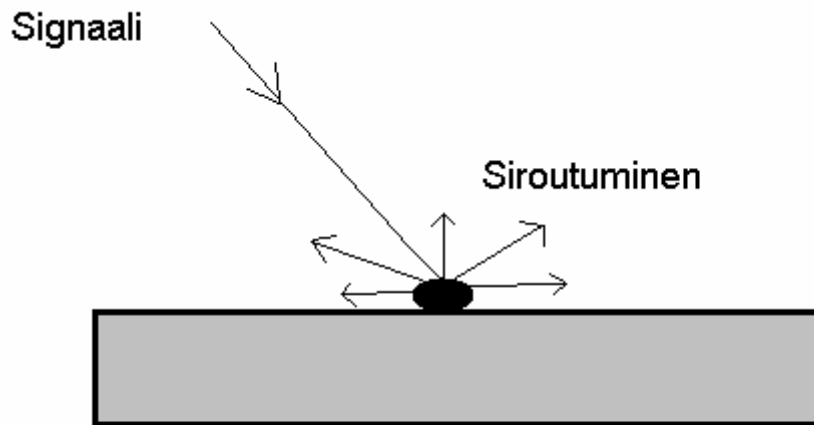
$\epsilon_2$  = aineen 2 permittiivisyys

$\theta_1$  = tulokulma



## 2.6 Sironta

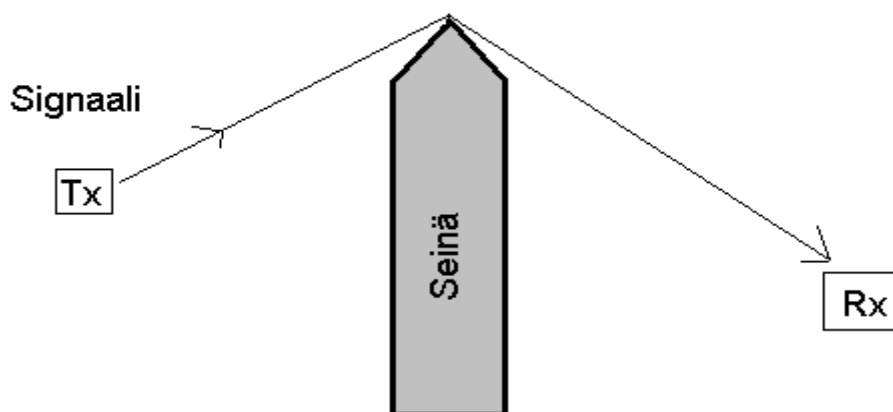
Sirontaa tapahtuu, kun radioaalto kohtaa tiellään pinnan, jonka suuruus verrattuna radioaallon aallonpituuteen on pienempi. Tapahtuman seurauksena radioaalto heijastuu satunnaisesti ympäristöön (kuva 7). (Struzak 2006, 46.)



KUVA 7. Radiosignaalin siroutuminen

## 2.7 Taipuminen

Radioaalto voi taipua terävien esteiden ohi, jos esteen koko ja radioaallon aallonpituus ovat sopivat. Taipuminen vaimentaa radiosignaalia enemmän kuin heijastuminen. (Kuva 8). (Graham ym. 2007, 47–48.)

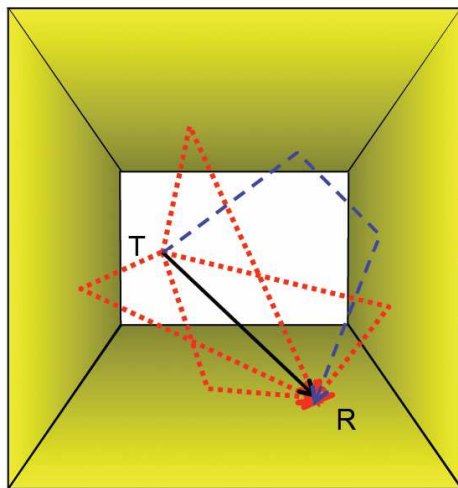


KUVA 8. Radiosignaalin taipuminen

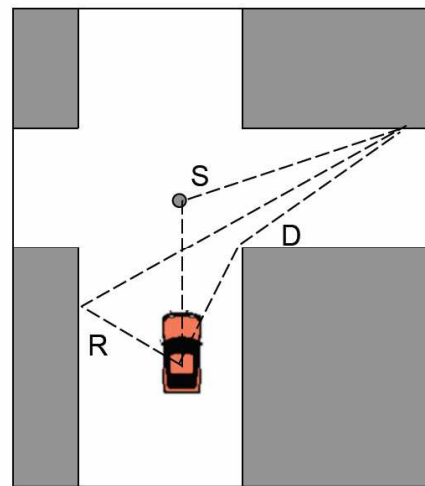
## 2.8 Monitie-eteneminen

Radioliikenteessä radiosignaalin eteneminen voi tapahtua monella edellä mainituista tavoista ja samanaikaisesti. Tätä kutsutaan radiosignaalin monitie-etenemiseksi. Siitä voi olla haittaa tai sitä voidaan joissain tapauksissa käyttää hyödyksi. Kuvassa 9 näkyy sisä- ja ulkotiloissa tapahtuvaa signaalin etenemistä. Sisätiloissakin tapahtuu sirontaa ja taipumista, jos siellä on esimerkiksi huonekaluja tai jotain sellaista, mistä radiosignaalin kulku muuttuu. (Struzak 2006, 85.)

### Multipath propagation



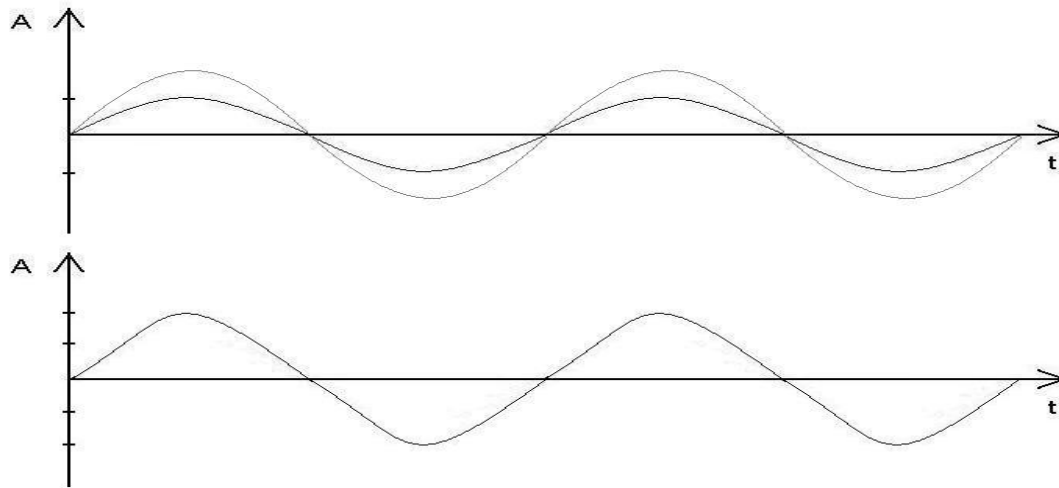
Indoor



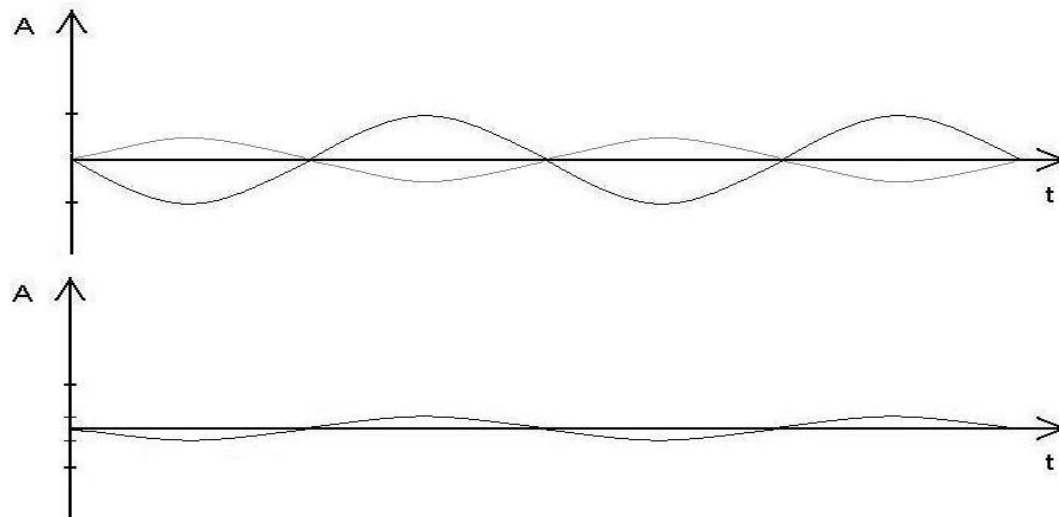
Outdoor: reflection (R),  
diffraction (D), scattering (S)

KUVA 9. Radiosignaalin monitie-eteneminen (Struzak 2006, 85)

Sinimuotoisessa radiosignaalin tasossa, jossa on huippuarvot ja nollat, samassa vaiheessa tulevat radiosignaalit eivät tuo negatiivista vaikutusta vastaanotettavaan signaaliin (kuva 10). Radiosignaalin monitie-etenemisen vaikutuksesta sen vaihe, suunta ja polarisaatio muuttuvat ja vastaanotetut radiosignaalit saattavat summautuessaan tuottaa ei-toivottua tulosta. Pahimmassa tapauksessa radiosignaalin taso hukkuu kohinaan (kuva 11). (Granlund 2001, 11–12.)



KUVA 10. Samassa vaiheessa kulkeutuvien radiosignaalien summautuminen



KUVA 11. Eri vaiheessa kulkeutuvien radiosignaalien summautuminen

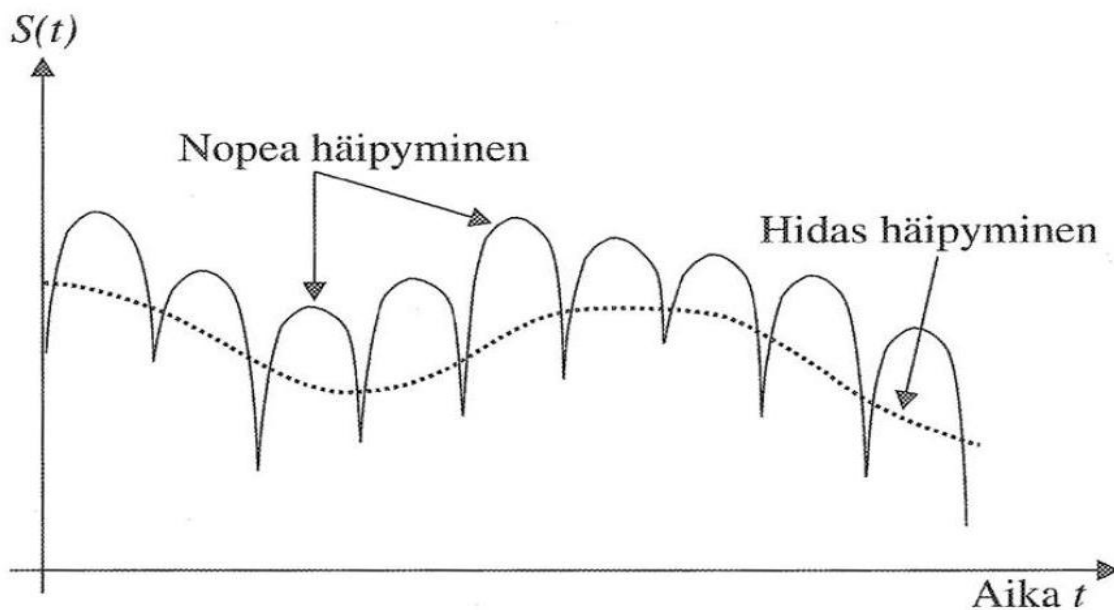
## 2.9 Häipyminen

Rayleigh- ja Rician-häipymismalleja käytetään kuvaamaan signaalin häipymistä monitie-etenemisessä. Signaalit kulkevat eri reittejä vastaanottiin, joten niillä on eri kulkumatka ja ne tulevat eri ajassa perille sekä vaihe ja teho muuttuvat heijastumisesta ja absorptioita. Vastaanotin voi olla liikkuva, mistä syntyy doppler-vaikutusta. Rayleigh-mallia käytetään, kun lähettimen ja vastaanottimen välillä ei ole suoraa näköyhteyttä, ja Rician-mallia, kun lähettimen ja vas-

taanottimen välillä on suora näköyhteysreitti. (Plicanic 2004, 5–6; Kärkkäinen 2010, 4.)

Puhutaan nopeasta ja hitaasta häipymisestä, joka riippuu radiosignaalin voimakkuuden ja vaiheen muutosnopeudesta. Hidasta häipymistä tapahtuu esimerkiksi vastaanottimen liikkeestä, jolloin signaalin keskiarvo muuttuu. Nopeaa häipymistä syntyy lähettimen liikkeestä ja radiosignaalin monitie-etenemisestä. Vastaanottimessa summautuneiden osasignaalien vaiheet jakautuvat satunnaisesti välille  $0-2\pi$  (kuva 12). (Granlund 2001, 15.)

Rayleigh-häipymistä on hankala ennustaa, koska ei voida tietää, mitä eri esteitä on tiellä tai mitä reittejä radiosignaali matkustaa. Kuvassa näkyvän signaalin todellisen arvon ja signaali-kohinasuhteen (SNR) ero voidaan korjata lisäämällä lähetystehoa, mutta usein se ei ole mahdollista tai muuten kannattava tapa. Ongelma voidaan ratkaista suunnittelemalla oikeanlainen antennidiversiteetti-ratkaisu. (Plicanic 2004, 6.)



KUVA 12. Hidas ja nopea häipyminen (Granlund 2001, 15)

## 3 ANTENNIDIVERSITEETTI

Antennidiversiteetti on yksi diversiteettijärjestelmästä, joita käytetään parantamaan langattomien radioyhteyksien luotettavuutta ja saavuttamaan parempia tehokkuuksia. Muita diversiteettijärjestelmiä ovat esimerkiksi aika-, taajuus- ja polarisaatiodiversiteetti. (Caimi – Greer – Hendler 2002, 1.)

Antennidiversiteettitekniikassa käytetään kahta tai useampaa yleensä samantyyppistä antennia. Antennit erotetaan fyysisesti toisistaan ja välimatka riippuu signaalin aallonpituudesta. Tekniikan tehokkuus perustuu siihen, että sijoitetaan antennit vähintään puolen kantoaallon etäisyydelle toisistaan. Näin saadaan varmistettua, että ainakin toinen antenneista ei joudu vaimennusalueelle. (Caimi ym. 2002, 2.)

### 3.1 Antennitekniikat

#### 3.1.1 Paikkadiversiteetti

Voidaan puhua vaaka- ja pystyerottelusta eli missä suunnassa antennit erotetaan fyysistesti toisistaan tasosta. Vaakaerottelussa antennien etäisyys voidaan laskea kaavalla 10. Kokeellisesti on päätelty, että optimaalinen  $\eta$ -arvo vaakaerottelussa on 11. Antennien korkeuksien kasvaessa pitää myös kasvattaa vaakaerottelua, jotta saataisiin paras mahdollinen diversiteettihyöty. (Fujimoto – James 2001, 56–57.)

*KAAVA 10. Vaakaerottelun laskentakaava*

$$D = \frac{h}{\eta}$$

$h$  = todellinen antennin korkeus

$D$  = vaakaerottelu

$\eta$  =  $\eta$ -parametri

Todellisessa ympäristössä vastaanotinyksiköt voivat vaihdella eri korkeuksilla lähetinyksikön ympärillä, joten antennille on laskettava tehokas toimintakorkeus  $h_e$ . Jos tehokas toimintakorkeus on pienempi todellista antennin korkeutta on vastaanotettu radiosignaalin teho heikompi. Häviö tai hyöty voidaan laskea kaavalla 11. (Fujimoto – James 2001, 57–58.)

*KAAVA 11. Häviön tai hyödyn laskentakaava vaakaerottelussa*

$$\Delta G = 20 \log_{10} \left( \frac{h_e}{h} \right)$$

$h_e$  = tehokas toimintakorkeus

$h$  = todellinen antennin korkeus

Antennien pystyerottelussa tarvitaan pitempää väliä, että päästäisiin tavoiteltuun diversiteettiähyötyyn. Merkitään alempi antenni  $h_1$  ja korkeampi  $h_2$ . Pystyerottelu  $D_v$  on näin  $h_2 - h_1$ . Vastaanottohyöty kahden antennin välillä niiden tehokkailla korkeuksilla voidaan laskea kaavalla 12. (Fujimoto – James 2001, 58.)

*KAAVA 12. Laskentakaava vastaanottohyödyille pystyerottelussa*

$$\Delta G = 20 \log_{10} \left( \frac{h'_e}{h_e} \right) = 20 \log_{10} \left( 1 + \frac{D_v}{h_e} \right)$$

$h'_e$  = korkeamman antennin tehokas toimintakorkeus

$h_e$  = matalamman antennin tehokas toimintakorkeus

$D_v$  = pystyerottelu

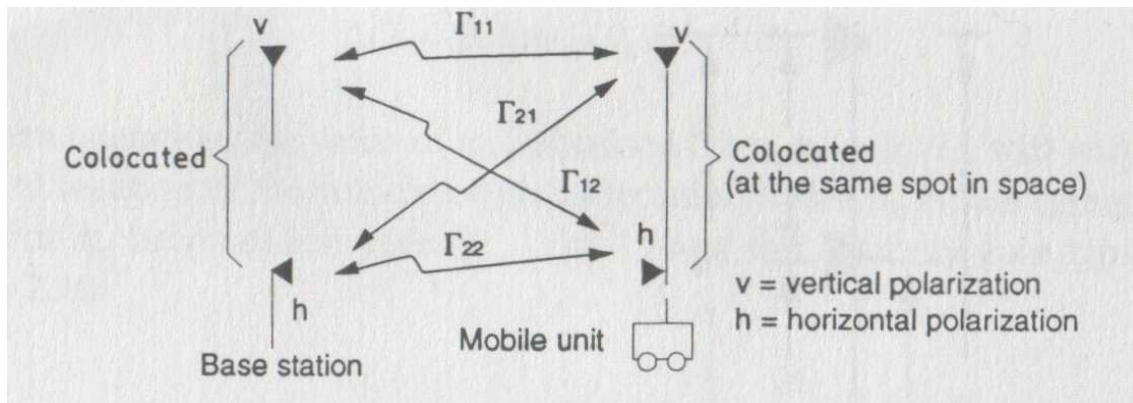
### 3.1.2 Polarisaatiodiversiteetti

Langattomissa radioyhteyksissä väliaineen kautta kulkeutuvissa radiosignaaleissa tapahtuu molemminpuolista kytkeytymistä vertikaali- ja horisontaalipolarisaatiossa. Horisontaalipolarisaatiossa oleva radiosignaali kytkeytyy vertikaalipolarisaatiossa kulkeutuvaan radiosignaaliin tai toisinpäin. Määritellään seuraavat symbolit:

- $\Gamma_{11}$  = vertikaalilähetys ja -vastaanotto

- $\Gamma_{12}$  = vertikaalikytkettyminen horisontaaliin
- $\Gamma_{21}$  = horisontaalikytkettyminen vertikaaliin
- $\Gamma_{22}$  = horisontaalilähetys ja -vastaanotto.

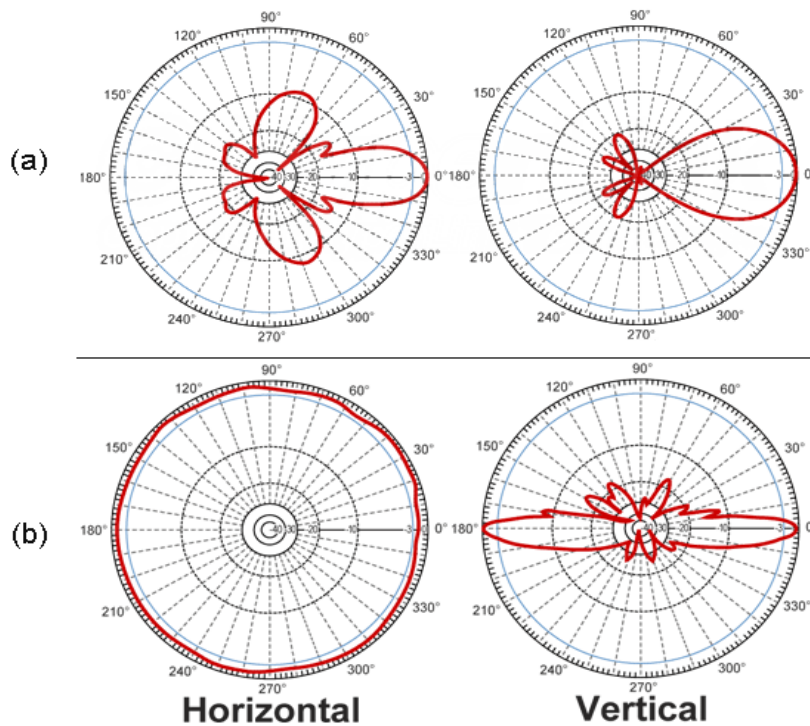
Nyt voidaan määritellä kahdessa eri polarisaatioissa saapuvaa aaltoa kahdelle polarisaatioantennille. Vertikaalipolarisaatio  $E_v = \Gamma_{11} + \Gamma_{21}$  ja horisontaalipolarisaatio  $E_h = \Gamma_{22} + \Gamma_{12}$ . Menetelmää voidaan hyödyntää paikkadiversiteetin kanssa, että saadaan samanaikaisesti käyttöön radiosignaalin vertikaalinen ja horisontaalinen lähetys sekä vastaanotto. (Kuva 13.) (Fujimoto – James 2001, 59–60.)



KUVA 13. Radiosignaalin kytkettyminen vertikaali- ja horisontaalipolarisaatioissa (Fujimoto – James 2001, 60)

### 3.1.3 Kuviodiversiteetti

Antennille ominaista on sen säteilykuvio. Säteilykuvioista puhutaan yleisesti myös suuntakuviona, joka kuvaa antennin säteilemän tehotiheyden tai kentänvoimakkuuden kulmariippuvuuden. Suuntakuviota voi olla monentyypinen, kuten suuntaava tai tasapuolisesti joka suuntaan jakautuva. Antennikuvioita voidaan käyttää paikkadiversiteetin kanssa, jotta voidaan hyödyntää samanaikaisesti useampia eri säteilykuvioita. (Kuva 14.) (Plicanic 2004, 9.)



KUVA 14. Antennin säteilykuvio: (a) suuntaava kuvio, (b) tasaisesti jakautuva kuvio (900 MHz 15 dBi Grid Antenna N Female Connector 2011; HyperLink HG2415U-PRO 2.4Ghz Omnidireccional 15dBi WIFI Antenna 2011)

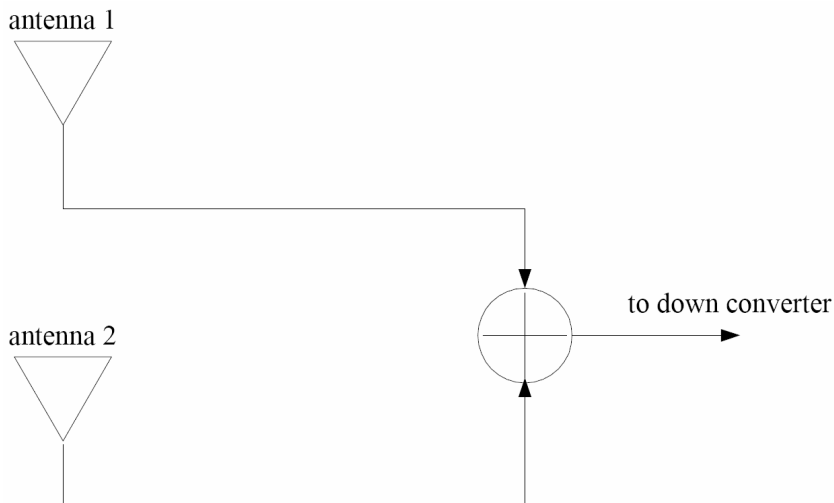
### 3.2 Valintamenetelmät

Useampaa antennia käyttäessä osasignaalit pitää yhdistää. Siihen voidaan käyttää passiivista summausta tai valinta- tai kytkinmenetelmää.

#### 3.2.1 Passiivinen summaus

Passiivisessa menetelmässä antennien signaalit summataan yhteen. Passiivisessa summauksessa osasignaalit summataan, vaikka ne saapuisivat vastakkaisissa vaiheissa vastaanottimelle. Tämä aiheuttaa summattuun radiosignaaliin ei-toivottua tulosta eli sen tehotaso saattaa laskea alle kohinatason. (Kuva 15.) (Gerein 2003, 23–24.)



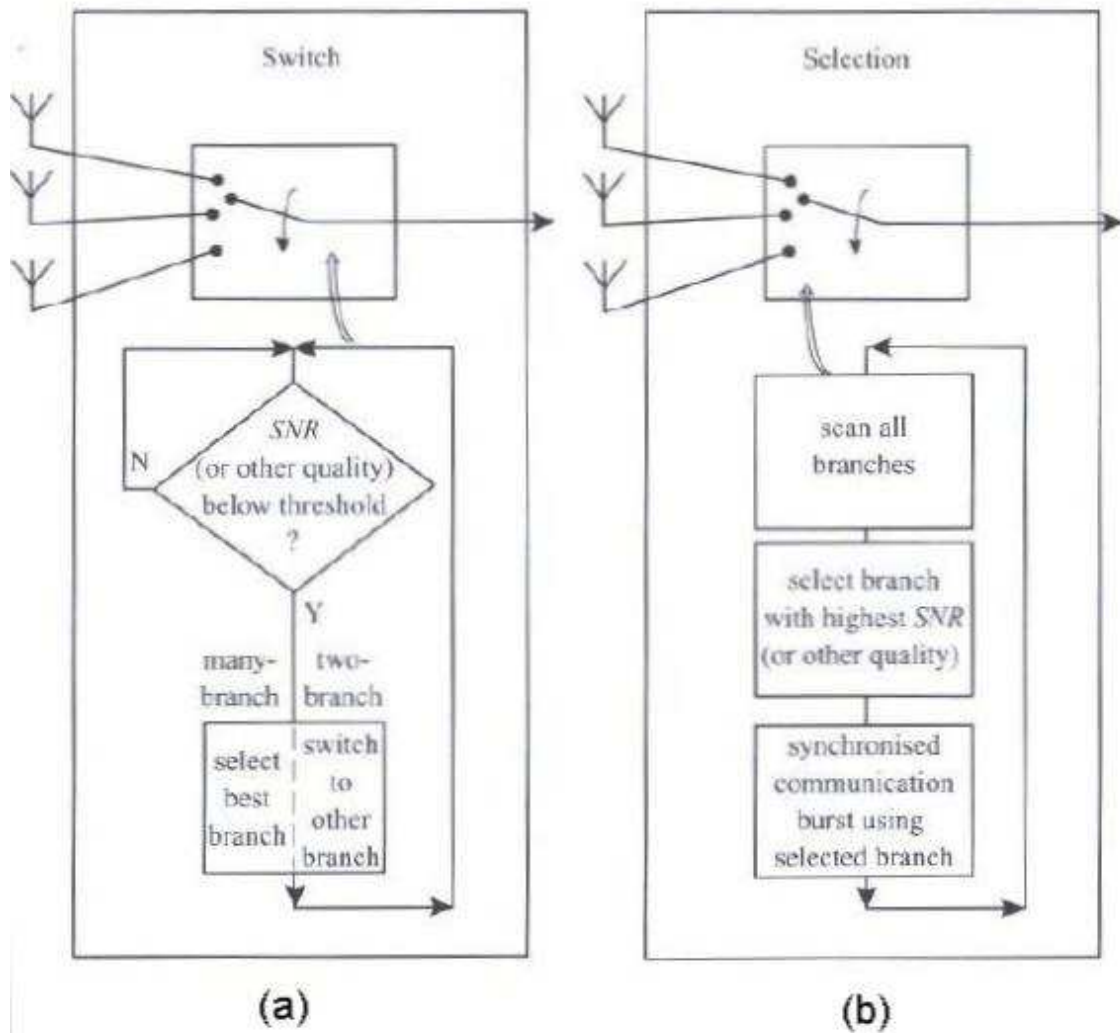


KUVA 15. Passiivinen summaus (Gerein 2003, 24)

### 3.2.2 Valinta- ja kytkinmenetelmä

Kytkinmenetelmässä radiosignaalin voimakkuudelle annetaan referenssiarvo, jonka alapuolelle mentäessä kytkin vaihtaa toiselle antennille. Tällä menetelmällä saadaan vältettyä passiivisessa summauksessa tapahtuva ongelma. Kytkinmenetelmän ongelma on vaihdon ajastus, joka tapahtuu radiosignaalin voimakkuuden laskettua alle referenssirajan. Toisella antennilla voi olla vielä huonompi vastaanottokyky ja syntyy turhaa vaihtamista antennilta toiselle. (Kuva 16a.) (Gerein 2003, 24; Plicanic 2004, 7.)

Valintamenetelmässä antenni valitaan suoraan radiosignaalin voimakkuuden mukaan. Antenneille vastaanotettuja radiosignaaleja verrataan keskenään RSSI:n tai jonkin muun laadun mukaan ja käytetään parasta niistä. (Kuva 16b.) (Gerein 2003, 24; Plicanic 2004, 7.)

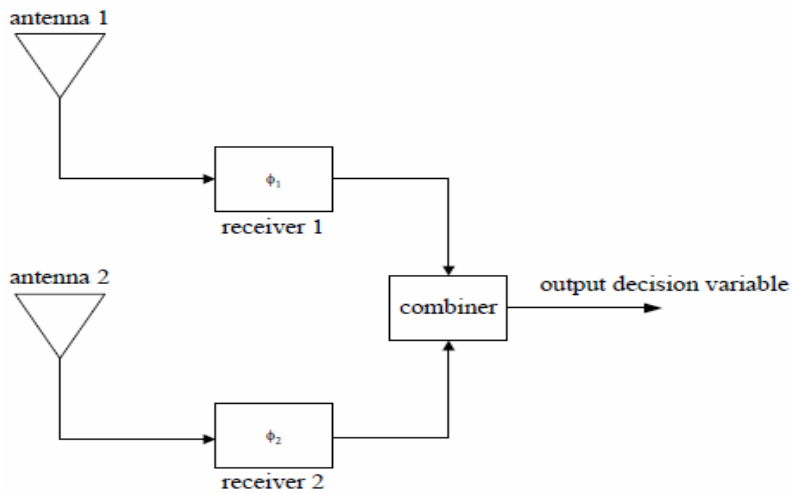


KUVA 16. (a) Kytkinmenetelmä, (b) valintamenetelmä (Plicanic 2004, 7)

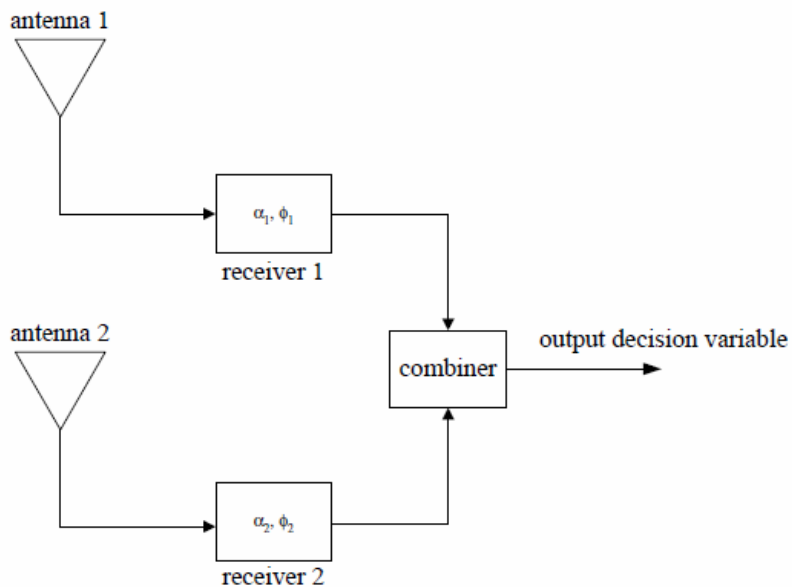
### 3.2.3 Yhtä suurten vahvistuksien yhdistäminen ja maksimisuhteiden yhdistäminen

Jos vastaanottimen koko tai taloudellisuus ei ole ongelma, voidaan käyttää yhtä suurten vahvistuksien yhdistämistä (equal gain combining) tai maksimisuhteiden yhdistämistä (maximal ratio combining). Näissä tapauksissa tarvitaan jokaista antenna kohti oma vastaanotin. Yhtä suurten vahvistuksien yhdistämisessä vastaanotetut radiosignaalit menevät vaihemuuntimen läpi, jotta ne saadaan samaan vaiheeseen ja yhdistetään sitten yhdeksi signaaliksi. (Kuva 17.) (Gerein 2003, 25–27; Plicanic 2004, 7.)

Maksimisuhteiden yhdistäminen on muuten samanlainen yhtä suurten vahvistuksien yhdistämisen kanssa, mutta osignaaleja yhdistettäessä otetaan huomioon signaalin voimakkuus. Voimakkaimmilla osignaaleilla on isompi painoarvo. (Kuva 18.) (Gerein 2003, 26–27; Plicanic 2004, 7.)



KUVA 17. Yhtä suurten vahvistuksien yhdistäminen (Plicanic 2004, 7)



KUVA 18. Maksimisuhteiden yhdistäminen (Plicanic 2004, 7)

## 4 NANOTRON NANOLOC DEVELOPMENT KIT

Nanotronin kehittämiä NanoLOC Development Kit -työkaluja käytetään tuotteen arvioimiseen, prototyyppien testaukseen sekä langattomien paikannusmenetelmien kehittämiseen. Paketti antaa valmiudet kehittää langattomia järjestelmiä paikannus- ja etäisyysmittauksiin sekä tiedonvälitykseen. NanoLOC-paketti koostuu NanoLOC DK -levyistä, nanoLOC usb -tikusta, kaapeleista, antenneista, ja AVR studio -tietokoneohjelmistosta. (Kuva 19.) (NanoLOC development kit user guide 2008, 1–2.)

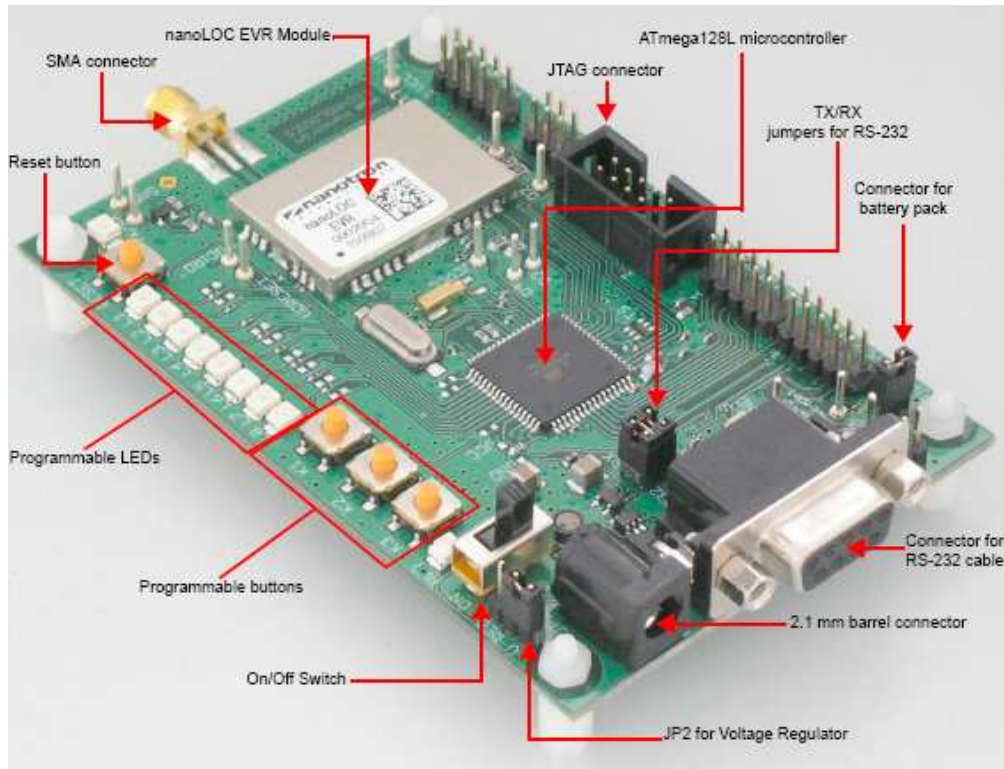


*KUVA 19. NanoLOC Development Kit (NanoLOC development kit user guide. 2008, 1)*

### 4.1 NanoLOC DK -levy

NanoLOC DK -levy toimii 2,45 GHz:n maailmanlaajuisella ISM-tajuudella (kuva 20). Taajuusalue ei tarvitse erillistä lupaa ja on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön. Käyttöjännitealue levyllä on 2,3–2,7

volttia. Tarkemmat viitetiedot ovat liitteessä 1. (NanoLOC development kit user guide 2008, 5.)



KUVA 20. NanoLOC Dk -levy (NanoLOC development kit user guide. 2008, 5)

#### 4.2 Vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoitin

NanoLOCissa on varattu kuusi bittiä vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoittamiseen. Binaarijärjestelmässä kuudella bitillä voidaan osoittaa desimaaliluvut väliltä 0–63. Kun lähetysteho pidetään vakiona, RSSI-luku osoittaa suoraan kokonaisluvun tarkkuudella, kuinka suuri osa lähetystehosta vaimenee matkalla. RSSI-luvun ollessa lähellä 63:a on radiosignaalin vaimentuminen vähäistä ja lähellä nollaa vaimentuminen on suurta. (Kuva 21.) (NanoLOC TRX transceiver user guide 2008, 166.)

Offset	RW	MSB		Bit Number						LSB
		7	6	5	4	3	2	1	0	
0x28	R			RSSI						
	init	0	0	0	0	0	0	0	0	
	W	Internal Use Only		AgcRssiThres						
	init	0	0	0	1	1	1	1	0	

#### Read Only Fields

Bits	Mnemonic	Prop	Description
0-5	RSSI	RO brst BbClk	READS THE RSSI FOR CURRENT PACKET <i>Purpose:</i> The RX gain used for the current packet can be read after the packet header end interrupt. <i>Note:</i> Auto Mode only

KUVA 21. RSSI-bittien luvut. (NanoLOC TRX transceiver user guide 2008, 166)

## 5 TEHONJAKAJAN KÄYTÖN MERKITYS

Tehonjakajan merkitys tässä työssä on varsin huomattava. Tässä luvussa selvitetään Wilkinson- ja reletehonorjakajan perusominaisuudet sekä niiden käyttötarkoitus tässä työssä. Tehonjakajan tehtävänä tässä työssä on mahdollistaa kahden antennin käyttö radiolähtimessä tai -vastaanottimessa.

### 5.1 Wilkinson-tehonorjakaja

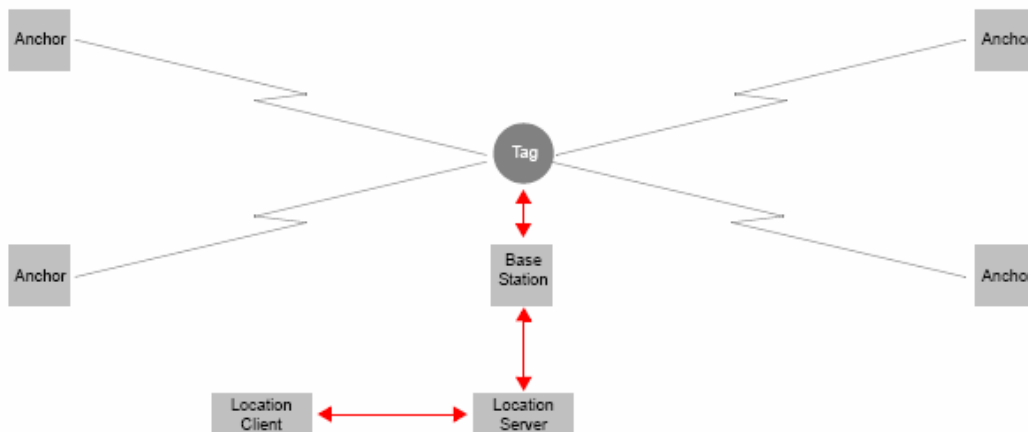
Wilkinson-tehonorjakaja perustuu tulevan signaalin jakamiseen kahteen yhtäaikaan lähtevään signaaliin tai sitä voidaan käyttää passiivisena summaajana. Idea on tässä jakajassa hyvä, mutta teho jakautuu tasaisesti molemmille haaroille eli teho puolittuu haaroissa. Wilkinson-tehonorjakajasta käytetään myös nimeä 3 dB -jakaja. Työssä käytettävälle Wilkinson-tehonorjakajalle on mitattu päästövaimennukset taajuudella 2,45 GHz portille yksi  $-5,45$  dB ja portille kaksi  $-5,64$  dB. Porttien päästövaimennuksista  $-3$  dB syntyy signaalin jakamisesta kahteen eri haaraan eli jäljelle jää komponenteista ja piirilevystä johtuvia tehohäviöitä. Komponentti- ja piirilevyhäviöt ovat portille yksi  $-2,45$  dB ja portille kaksi  $-2,64$  dB. (Väänänen 2010, 21, 63–64.)

### 5.2 Reletehonorjakaja

Reletehonorjakajassa on sama idea kuin Wilkinson-tehonorjakajassa. Reletehonorjakajassa on vain toinen uloslähtö aktiivinen. Käytännössä se tarkoittaa, että jakajan releeseen täytyy syöttää ohjausjännite, jolla ohjataan uloslähdön toimintaa. Tämä ratkaisu on tehohäviön kannalta parempi ratkaisu, koska  $-3$  dB:n häviötä ei synny. Todellisuudessa työssä käytettävälle reletehonorjakajalle on mitattu päästövaimennukset taajuudella 2,45 GHz portille yksi  $-3,52$  dB ja portille kaksi  $-4,06$  dB. Huonoina puolina voidaan sanoa releen mekaaninen ohjaus, joka vähentää releen elinikää, ja sen viive vaihdettaessa ulostuloporttia. (Väänänen 2010, 23, 54–55.)

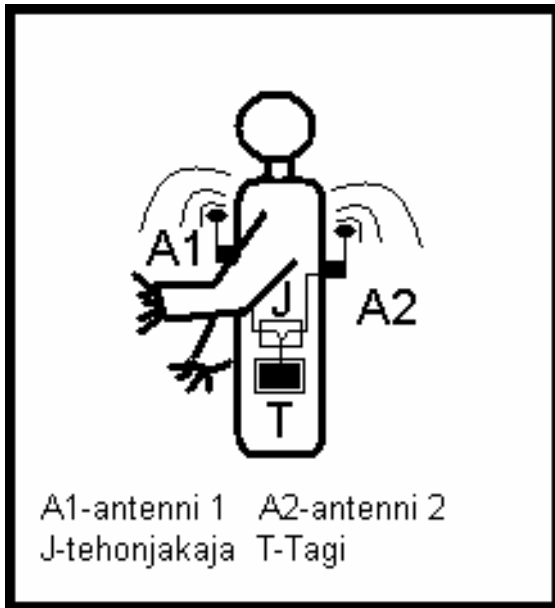
### 5.3 Esimerkkutilanne tehonjakajan käytöstä

Otetaan esimerkkutilanne, jossa paikannetaan henkilöä radiolähettimien avulla käyttäen NanoLOC-paikannusdemoa. Toimiakseen tagin täytyy keskustella ankkurien kanssa, jotka ovat ennalta määrättyissä paikoissa, ja tiedot on asetettu tietokoneen ohjelmaan (kuva 22). Ideaalinen toiminnallisuus saadaan, kun tagiin on suora näköyhteysreitti jokaiselta ankkurilta eli voidaan olla varmoja mittauksen onnistumisesta. Henkilön paikannuksessa voi tulla ongelmia, kun tagia ei voida yleensä pitää siten, että sillä olisi näköyhteys jokaiseen ankkuriin ihmisen kehon takia. Tilannetta voidaan parantaa käyttämällä tehonjakajaa. Tagin lähtö jaetaan kahteen ulostuloon jakajan avulla ja sijoitetaan antennit ihmisen kehon rinta- ja selkäpuolelle. Tämä ratkaisee NLOS-ongelman, jos henkilö on sijoittunut kasvotusten yhden ankkurin tuntumaan. Ilman tehonjakajaa tässä tapauksessa pahimmillaan yhteyden saisi vain yksi ankkuri, mutta tehonjakajan avulla selän puolella oleva antenni on näköyhteydessä kolmeen muihunkin ankkuriin (kuva 23).



KUVA 22. Nanolocin paikannusdemo neljällä ankkurilla (NanoLOC development kit user guide 2008, 37)





*KUVA 23. Tagin lähtö jaettu tehonjakajalla kahdelle antennille*

## 6 MITTAUKSET

Tavoitteena oli kenttätestauksen kautta testata tehonjakajien toimivuutta etäisyysmittauksissa. Kolmen eri testitapauksen avulla testattiin eri antenniratkaisujen (reletehonorjakajan, Wilkinson-tehonorjakajan ja ilman tehonorjakajaa) toimivuutta. Toimivuutta testattiin radiosignaalin RSSI-arvojen avulla. Radiosignaalin RSSI-arvot mitattiin esteettömällä ja esteellisellä alustalla 50 metriin asti. Esteenä toimi ihmiskeho.

### 6.1 Menetelmät

Tässä luvussa esitellään testialusta ja kerrotaan yksityiskohtaisesti, miten eri testitapauksien mittaukset suoritettiin. Mittaustulokset esitellään ja analysoidaan myöhemmässä vaiheessa.

#### Mittausten valmistelu

Mittaukset toteutettiin ulkona Oulun seudun ammattikorkeakoulun pysäköinti-alueella. Valittiin alue, jossa mittauksia voitiin toteuttaa 50 metrin pituudelle ilman esteitä (kuva 24). Mittauksissa käytettiin yhtä tagia ja kolmea ankkuria (kuva 25). Ankkureiden ja tagin korkeus maasta oli 146 cm. Sää testaustapahtuman aikana selviää taulukosta 2.

TAULUKKO 2. Paikallissää mittausten aikana. (Paikallissää Oulu 2010)

Paikallissää Oulu 27.10.2010						
klo	lämpötila [°C]	kosteus [%]	kastepiste [°C]	tuuli [m/s]	puuska [m/s]	näkyvyys [km]
7.20	-0,1	98	-0,4	4	4	0,9
15.10	2	92	0,9	7	9	20



*KUVA 24. Mittausympäristö pysäköintialueella*



*KUVA 25. Yhden tagin (vasemmalla) ja kolmen ankkurin (oikealla) käyttö mittauksissa*

NLOS-mittauksissa avustaneella koehenkilöllä oli pituutta 176 cm ja painoa 73 kg. Mittaukset otettiin etäisyyksiltä 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 ja 50 metriä. Mittauksen kesto jokaiselle mittausetäisyydellä oli noin kaksi minuuttia, jossa kertyi noin 400–1000 mittaustulosta radioyhteyden eheydestä riippuen. Todellinen etäisyys tarkistettiin rulla- ja lasermitalla tagin ja ankkurin väliltä. Mittauksissa käytettiin kolmea ankkuria mittaustulosten verrattavuuden takia. Mittaus tulokset tallennettiin tietokoneelle Excel-taulukkoon.

Todetaan antennikorkeuden riittävyys matemaattisesti Fresnelin ensimmäisen ellipsoidin avulla. Lasketaan kaavalla 1 aallonpituus 2,45 GHz:n taajuudelle.

$$\lambda = \frac{2,9979 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2,45 \text{ GHz}} = 0,122 \text{ m}$$

Mittauksia tehtiin 50 metriin asti ja lasketaan ensimmäisen Fresnelin ellipsoidin vaatima vapaa tila yhteysvälin keskipisteestä, koska antennien korkeudet olivat samat lähettimessä ja vastaanottimissa. Tässä tapauksessa  $r_1$  ja  $r_2$  ovat samansuuruiset. Käytetään kaavaa 3  $r_1$ :n ja  $r_2$ :n laskemiseksi.

$$r_1 = \frac{\frac{\lambda}{2} + r_0}{2} = \frac{\frac{0,122 \text{ m}}{2} + 50 \text{ m}}{2} = 25,0305 \text{ m}$$

Ensimmäisen Fresnelin ellipsoidin säde saadaan laskettua kaavalla 4.

$$h_F = \sqrt{\frac{\lambda r_1 r_2}{r_1 + r_2}} = \sqrt{\frac{0,122 \text{ m} \cdot 25,0305 \text{ m} \cdot 25,0305 \text{ m}}{25,0305 \text{ m} + 25,0305 \text{ m}}} \approx 1,24 \text{ m}$$

Antennin riittävä korkeus LOS-yhteydelle matemaattisesti laskettuna on 1,24 metriä. Työn mittauksissa antennin korkeus oli 1,46 metriä, joka oli riittävä LOS-yhteydelle.

## Testitapaus yksi, LOS- ja NLOS-mittaus ilman tehonjakajaa

Ensimmäisessä testitapauksessa mitattiin RSSI-arvot ilman tehonjakajia. Suoritettiin LOS- ja NLOS-mittaukset etäisyyksillä 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 ja 50 metriä. LOS-mittaukset tehtiin kuvan 24 mukaisesti jokaisella mittaus-etäisyydellä ja NLOS-mittaukset kuvan 26 mukaisesti.



*KUVA 26. NLOS-mittaus ilman tehonjakajaa*

## Testitapaus kaksi, mittaus Wilkinson-tehонjakajalla

Toisessa testitapauksessa kytkettiin Wilkinson-tehонjakaja tagiin, jotta saatiin kaksi lähtöä. Antennit sijoitettiin koehenkilön rinta- ja selkäpuolelle (kuva 27). Suoritettiin mittaukset etäisyyksillä 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 ja 50 metriä.



*KUVA 27. Mittaukset Wilkinson-tehönjakajalla*

### **Testitapaus kolme, LOS- ja NLOS-mittaus reletehönjakajalla**

Kolmannessa testitapauksessa kytkettiin reletehönjakaja tagiin, jotta saatiin kaksi lähtöä. Käytettiin käsiohjausta reletehönjakajan ohjaamiseen eli toinen kanavista oli koko mittausajan aktiivinen. Suoritettiin LOS-mittaukset reletehönjakajan portilla yksi etäisyyksillä 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 ja 50 metriä ja NLOS-mittaukset portilla kaksi etäisyyksillä 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 ja 50 metriä. (Kuva 28.)



*KUVA 28. Mittaukset reletehonjakajalla*

## **6.2 Tulokset**

Tässä luvussa esitellään mittaustulokset kolmesta eri testitapauksesta. Mittaus-  
ten alkupuolella yhteen ankkureista tuli häiriö ja sen mittaustulokset jätettiin ko-  
konaan pois.

### **Mittaustulokset testitapaukselle yksi**

LOS-mittauksissa saatiin RSSI-arvo mitattua 50 metriin asti ilman ongelmia.  
Ankkureille 1 ja 2 saatujen mittaustulosten keskiarvot etäisyyksillä 1–50 metriä  
näkyvät taulukosta 3.

TAULUKKO 3. LOS-mittaustulokset ilman tehonjakajaa

LOS-mittaus ilman tehonjakajaa		
Ankkuri 1 RSSI-arvo	Ankkuri 2 RSSI-arvo	etäisyys [m]
60	59	1
57	56	2
55	54	3
54	53	4
53	52	5
52	50	7
50	48	10
48	46	15
49	48	20
41	41	30
45	43	40
46	45	50

NLOS-mittauksessa sijoitettiin koehenkilö esteeksi tagin eteen vaimentamaan radiosignaalia, minkä seurauksena mittaustuloksia saatiin vain 10 metriin asti. Ankkureille 1 ja 2 saatujen mittaustulosten keskiarvot etäisyyksillä 1–10 metriä näkyvät taulukosta 4.

TAULUKKO 4. NLOS-mittaustulokset ilman tehonjakajaa

NLOS-mittaus ilman tehonjakajaa		
Ankkuri 1 RSSI-arvo	Ankkuri 2 RSSI-arvo	etäisyys [m]
49	49	1
45	48	2
44	47	3
43	45	4
44	45	5
43	44	7
41	43	10

### Mittaustulokset testitapaukselle kaksi

Wilkison-tehонjakajan päästöväimennuksen takia mittaukset voitiin toteuttaa vain 15 metriin asti. Ankkureille 1 ja 2 saatujen mittaustulosten keskiarvot etäisyyksillä 1–15 metriä näkyvät taulukosta 5.



*TAULUKKO 5. Mittaustulokset Wilkinson-tehönjakajalla*

Mittaus wilkison-tehönjakajalla		
Ankkuri 1 RSSI-arvo	Ankkuri 2 RSSI-arvo	etäisyys [m]
52	52	1
48	49	2
47	46	3
46	46	4
45	45	5
44	42	7
43	41	10
42	41	15

**Mittaustulokset testitapaukselle kolme**

Testitapaus kolmen LOS-mittauksissa käytettiin reletehönjakajan lähtöä 1, joka oli perusasetuksena aktiivinen ilman ohjauksjännitettä. RSSI-arvot saatiin mitattua 20 metriin asti reletehönjakajan päästövaimennuksen takia. Ankkureille 1 ja 2 saatujen mittaustulosten keskiarvot etäisyyksillä 1–20 näkyvät taulukosta 6.

*TAULUKKO 6. LOS-mittaustulokset reletehönjakajalla*

LOS-mittaus reletehönjakajalla		
Ankkuri 1 RSSI-arvo	Ankkuri 2 RSSI-arvo	etäisyys [m]
56	53	1
54	52	2
52	51	3
50	48	4
49	48	5
48	46	7
47	45	10
44	43	15
44	43	20

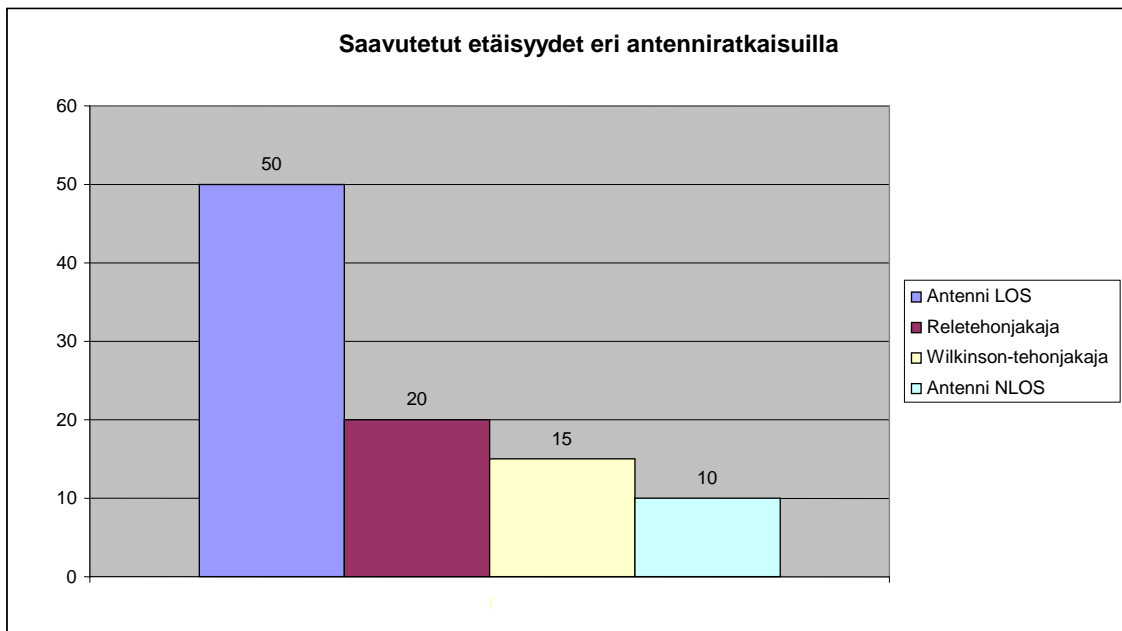
Testitapaus kolmen NLOS-mittauksissa käytettiin lähtöä 2, joka saatiin aktiiviseksi syöttämällä reletehönjakajaan ohjauksjännite. RSSI-arvot saatiin mitattua 3 metriin asti. Ankkureille 1 ja 2 saatujen mittaustulosten keskiarvot etäisyyksillä 1–3 näkyvät taulukosta 7.

TAULUKKO 7. NLOS-mittaustulokset reletehonjakajalla

NLOS-mittaus reletehonjakajalla		
Ankkuri 1 RSSI-arvo	Ankkuri 2 RSSI-arvo	etäisyys [m]
47	45	1
43	43	2
40	40	3

### 6.3 Päätelmiä

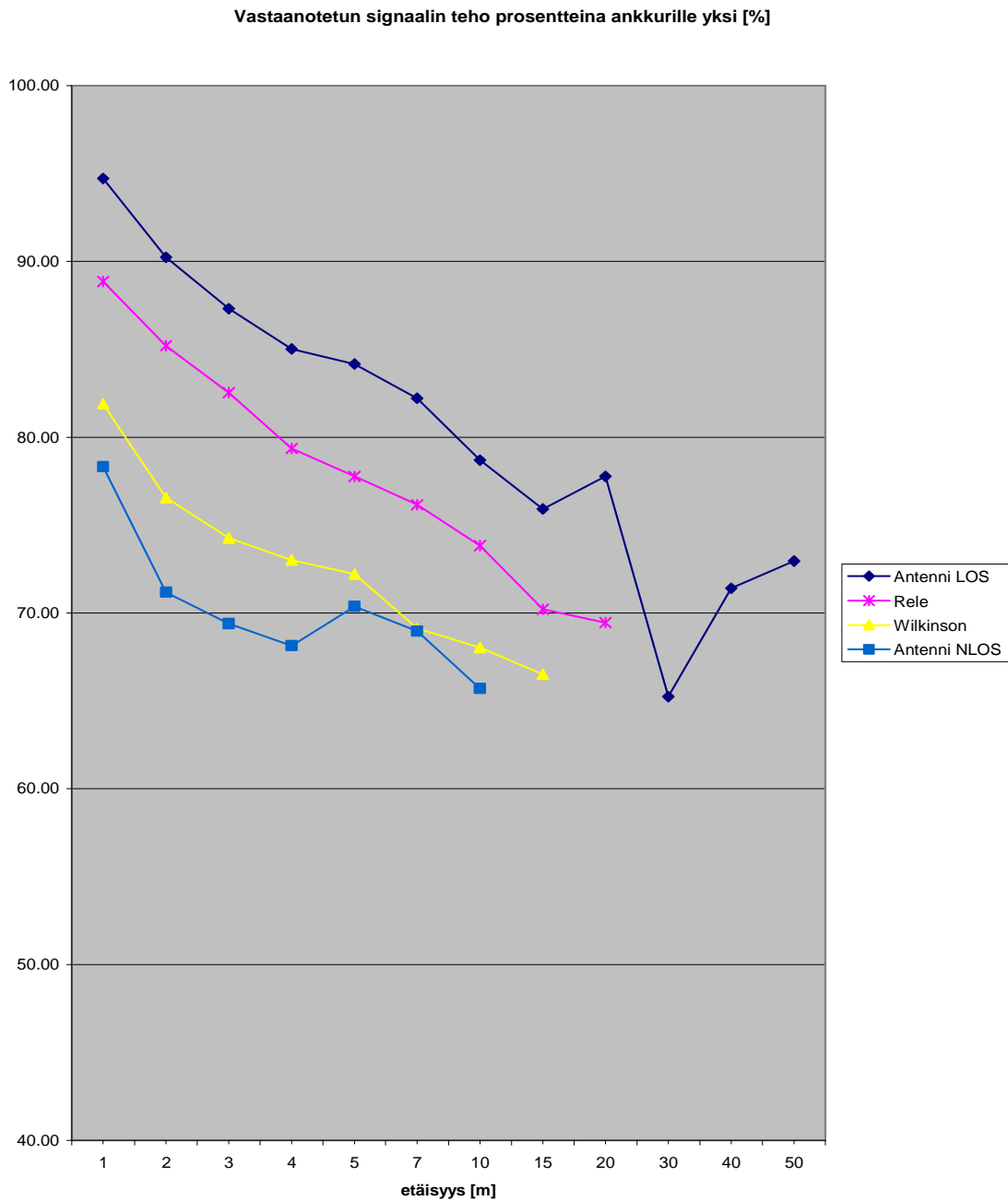
Luvussa 5.3 käytiin läpi ongelmaa, joka voi syntyä NLOS-paikannusmittauksissa. Wilkinson- ja reletehonjakan päästövaimennuksen takia ei päästä samoihin etäisyyksiin kuin ilman sen käyttöä LOS-mittauksissa. Mittauksissa käytetyillä laitteilla ja mittausalustalla saavutettaisiin Wilkison-tehonjakajalla 5 metrin hyöty ja reletehonjakajalla 10 metrin hyöty. Tämä tarkoittaa, että NLOS-mittauksissa saatiin etäisyys kasvatettua 150 prosenttia Wilkison-tehonjakajalla ja 200 prosenttia reletehonjakajalla. (Kuva 29.)



KUVA 29. Saavutetut etäisyydet eri antenniratkaisuilla

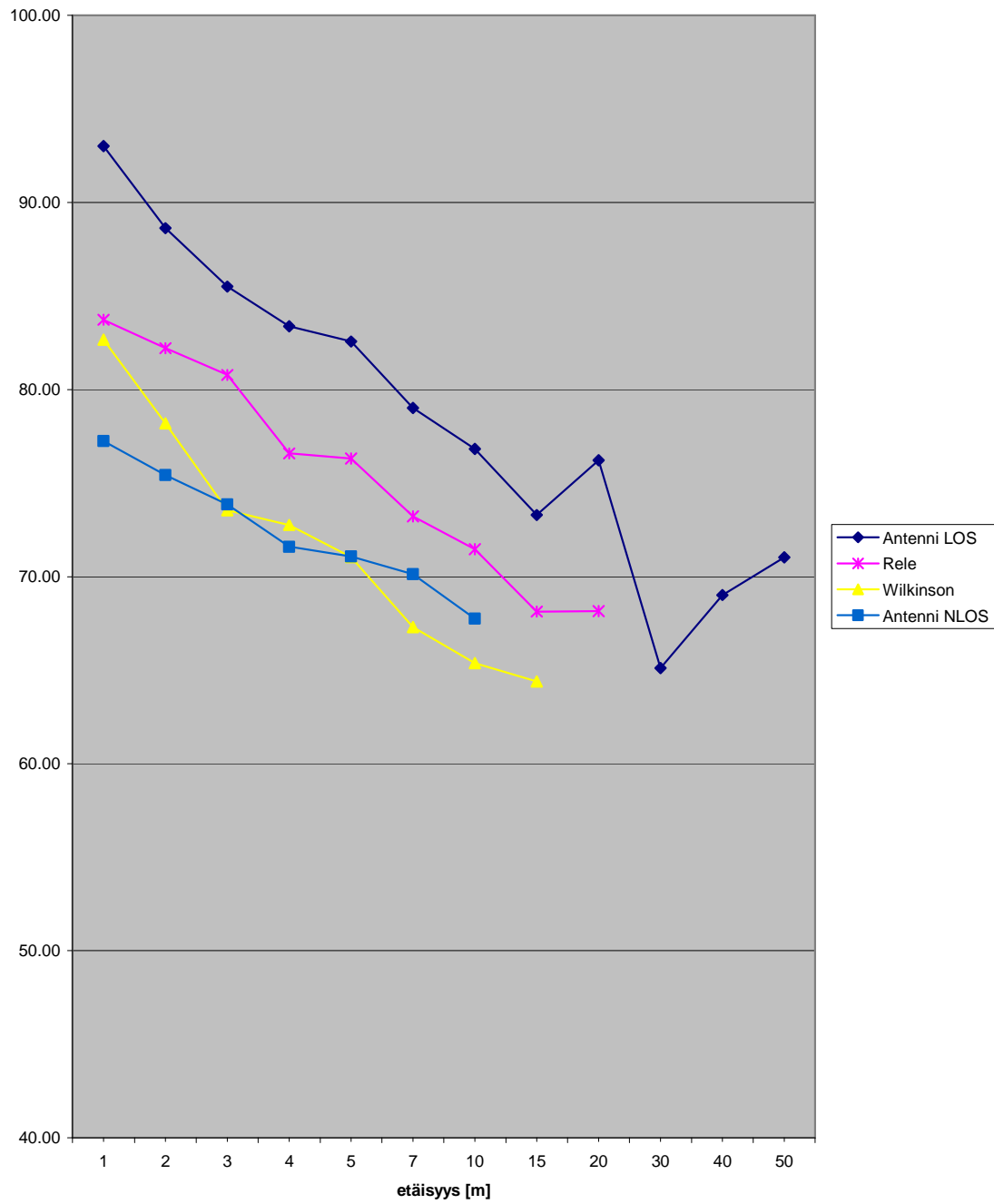
Muutetaan RSSI-arvot prosenttimuotoon mittaustulosten lukemisen helpottamiseksi ja tarkastellaan mittaustuloksia graafisesti kuvaajien avulla (kuvat 30 ja 31). Kuvaajista on jätetty reletehonjakajan NLOS-mittaukset pois, koska antenneista valitaan aina parempi eli LOS-yhteys. Kuvaajasta selviää mitatulta etäi-

syydeltä vastaanotetun radiosignaalin tehon prosenttiosuus lähetystehosta. Ankkurille yksi saadut tulokset ovat oletuksen mukaisia. Wilkinson-tehonsäädin ja reletehonsäädin kuvaavan suoran päästövoimennus on esteen (ihmiskehon) voimennusta pienempi. Ankkurille kaksi saaduissa tuloksissa on Wilkinson-tehonsäädin suora melkein samaa tasoa NLOS-suoran kanssa, mutta reletehonsäädin suora on odotetussa tasossa.



*KUVA 30. Vastaanotetun signaalin teho prosentteina ankkurille yksi*

Vastaanotetun signaalin teho prosentteina ankkurille kaksi [%]



KUVA 31. Vastaanotetun signaalin teho prosentteina ankkurille kaksi

## 7 YHTEENVETO

Työn päätarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa antennidiversiteetti 2,45 GHz:n radiomoduuliin. Antennidiversiteetti toteutettiin rele- ja Wilkinson-tehonjakajilla. Tavoitteena oli parantaa langattoman radioyhteyden luotettavuutta ja toimintaetäisyyttä NLOS-radioyhteyksissä. Paikkadiversiteettiratkaisulla poistettiin ihmiskehon tuottamat ongelmat radiosignaalin etenemisessä. Ratkaisuna käytettiin antennien lisäämistä ihmiskehon rinta- ja selkäpuolelle.

Saaduista lopputuloksista voidaan helposti päätellä, että antennidiversiteetin käytöllä saadaan toimintaetäisyyttä NLOS-radioyhteyksissä kasvatettua. Reletehonjakaja on parempi ratkaisu ja sillä päästiin parempiin tuloksiin (200 %) kuin Wilkinson-tehonjakajalla (150 %). Paremmalla suunnittelulla reletehonjakajalla päästäisiin vielä parempiin tuloksiin.

Radioyhteyden luotettavuutta parannettiin tuomalla NLOS-yhteyksiin LOS-komponentti eli käytännössä saatiin NLOS-yhteydestä tehtyä antennidiversiteetin avulla LOS-yhteys.

Mittauksissa ongelmana oli radioyhteyden lyhyt toimintaetäisyys. Mittaukset olisi pitänyt suunnitella lyhyemmälle etäisyydelle. Reletehonjakajalla päästiin NLOS-mittauksissa 20 metriin asti, joten se olisi riittänyt maksimietäisyydeksi ja mittauksia olisi voitu ottaa tiheämmin mittaustarkkuuden parantamiseksi. Mittauksia olisi voitu laajentaa esimerkiksi testitapauksella neljä, jossa olisi käytetty paikka- ja polarisaatiodiversiteettiä samanaikaisesti.

## LÄHTEET

900 MHz 15 dBi Grid Antenna N Female Connector. 2011. Saatavissa: <http://www.l-com.com/item.aspx?id=22371>. Hakupäivä 9.3.2011.

Caimi, F. – Greer, K. – Hendler, J. 2002. Antenna diversity in wireless local area network devices. Saatavissa: [http://www.skycross.com/technology/Whitepapers/Diversity\\_in\\_WLAN\\_Devices.pdf](http://www.skycross.com/technology/Whitepapers/Diversity_in_WLAN_Devices.pdf). Hakupäivä 9.3.2011.

Fujimoto, K. – James, J.R. 2001. Mobile antenna system handbook. Toinen painos. Norwood: Artech house.

Gerein, N. 2003. A spatial diversity scheme for fixed point indoor wireless communication. Saskatchewan yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: [http://library2.usask.ca/theses/available/etd-12232003-182252/unrestricted/Neil\\_Gerein\\_thesis.pdf](http://library2.usask.ca/theses/available/etd-12232003-182252/unrestricted/Neil_Gerein_thesis.pdf). Hakupäivä 7.3.2011.

Graham, A. – Kirkman, N. – Paul, P. 2007. Mobile radio network design in the VHF and UHF bands. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Granlund, K. 2001. Langaton tiedonsiirto. Porvoo: WS Bookwell.

HyperLink HG2415U-PRO 2.4Ghz Omnidireccional 15dBi WIFI Antenna. 2011. Saatavissa: <http://www.digdice.com/tag/15dbi/page/2/>. Hakupäivä 9.3.2011.

Kärkkäinen, K. 2010. Flat fading -kanavat. Tietoliikennetekniikan kurssimateriaali. Saatavissa: [http://www.telecomlab oulu.fi/~kk/dtsp/9\\_Haipyminen\\_ekvalisointi\\_OFDM.pdf](http://www.telecomlab oulu.fi/~kk/dtsp/9_Haipyminen_ekvalisointi_OFDM.pdf). Hakupäivä 9.3.2011

NanoLOC development kit user guide. 2008. Nanotron Technologies.

NanoLOC TRX transceiver datasheet. 2008. Nanotron Technologies.

NanoLOC TRX transceiver user guide. 2008. Nanotron Technologies.

Paikallissää Oulu. 2010. Ilmatieteen laitos. Saatavissa:  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/saa/Oulu>. Hakupäivä 27.10.2010.

Plicanic, V. 2004. Antenna diversity studies and evaluation. Lundin yliopisto. Lääketieteellisen tekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa:  
<http://www.es.lth.se/teorel/Publications/TEAT-5000-series/TEAT-5064.pdf>. Hakupäivä 7.3.2011.

Räisänen, A. – Lehto, A. 2007. Radiotekniikan perusteet. 12. painos. Helsinki: Otatieto.

Struzak, R. 2006. Radio-wave propagation basics. Saatavissa:  
[http://wireless.ictp.it/school\\_2006/lectures/Struzak/RadioPropBasics-ebook.pdf](http://wireless.ictp.it/school_2006/lectures/Struzak/RadioPropBasics-ebook.pdf). Hakupäivä 7.3.2011.

Väänänen, J. 2010. Tehonjakaja 2,45 GHz:n taajuudelle. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Table 1: Quick reference data

Parameter	Value	Unit
Maximum supply voltage	2.7	V
Minimum supply voltage	2.3	V
Maximum output power	0	dBm
Maximum data rate	2	Mbps
Typical sensitivity at nominal conditions <sup>a</sup>	-95	dBm
Typical sensitivity at nominal conditions <sup>a</sup> , FEC=ON	-97	dBm
Typical supply current:		
In transmit mode @ -10 dBm output power and nominal conditions <sup>a</sup>	25	mA
In transmit mode @ 0 dBm output power and nominal conditions <sup>a</sup>	30	mA
@ 80 MHz and 1 Mbit/s	35	mA
@ 80 MHz and 250 kbit/s	35	mA
In receive mode and nominal conditions <sup>a</sup>	33	mA
In shut-down mode	2	µA
Operating temperature range	-40 to +85	°C
Frequency channels (FDMA Mode, non-overlapping channels) according to IEEE 802.15.4a standard: <sup>b</sup>		
Number of frequency channels (Europe)	3	Number
Number of frequency channels (USA)	3	Number
Frequency channels (FDMA Mode, overlapping channels) according to IEEE 802.15.4a standard: <sup>c</sup>		
Number of frequency channels	14	Number
Nominal frequency bandwidth of the channel @ -30 dBr	22	MHz
Nominal frequency bandwidth for ranging @ -30 dBr	80	MHz
Typical operational voltages:		
Typical power supply voltage V <sub>DDA</sub> (analogue block)	2.5	V
Typical power supply voltage V <sub>DD</sub> (digital block)	2.5	V

a. See 11. Nominal Conditions on page 9.

b. For a full list of frequency channels used for Europe and USA, see 14.7. Local Oscillator (LO) on page 18

c. For a full list of frequency channels, see 14.7. Local Oscillator (LO) on page 18