

Nico Aaltonen  
3G – antennimittauksia

Tietotekniikan koulutusohjelma  
2015



## 3G- Antennimittauksia

Aaltonen, Nico  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Syyskuu 2015  
Ohjaaja: Aromaa, Juha DI  
Sivumäärä:42  
Liitteitä:1

Asiasanat: antenni, liikkuva laajakaista, 3G-mobiiliverkko

---

Nykyään 3G-verkko kattaa lähes koko maan. Kuitenkin signaalin kuuluvuus heikkenee sisätiloihin tultaessa. Paras ratkaisu kuuluvuuden parantamiselle on antennin asentaminen.

Insinööriyön aiheena oli tutkia erilaisten antennien käyttäytymistä ja vahvistuksen muutoksia asutusalueella, kun antennin kaapelin pituutta jatketaan. Työssä selvitettiin kolmen eri antennityypin käyttäytymistä, kiinteän ratkaisun asennuksessa. Työssä esitellään eri matkaviestintekniikoita pintapuolisesti ja käydään läpi 3G signaalin etenemistapoja, ja signaalin kuuluvuuteen vaikuttavia tekijöitä. Lopuksi esitellään mittaukset, tulokset ja johtopäätökset.

Mittaukset suoritettiin rivitaloalueella, jossa signaalin kuuluvuutta häiritseviä materiaaleja on melkoisesti. Mittaukset suoritettiin spektri-analysointilaitteella, joka näyttää siihen tulevan signaalin voimakkuuden.

## 3G external antenna measurements

Aaltonen, Nico  
Satakunta University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information technology  
September 2015  
Supervisor: Aromaa, Juha M.Sc  
Number of pages:42  
Appendices: 1

Keywords: antenna, mobile broadband, 3G – mobile network.

---

Today 3G networks cover almost the whole country. However, the signal reception weakens when coming indoors. The best solution for improving the coverage is the installation of the external antenna.

The subject of this thesis was to study the behavior and the gain changes of different antennas in a residential area, when the length of the antenna cable is increased. The thesis studied three different antenna types behavior, install the wired solution. This project presents different mobile technologies, the 3G signal propagation ways, and the factors that affect signal reception. At the end, are presented measurements, results and conclusions.

The measurements were carried in the terraced area there are quite a lot materials which disturbing signal reception. The measurements were carried with spectrum analyzer, which displays the signal strength.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MATKAVIESTIN TEKNOLOGIA.....	7
2.1	Tiedonsiirto tekniikat.....	7
2.1.1	GPRS .....	8
2.1.2	EDGE .....	8
2.1.3	UMTS .....	9
2.1.4	HSDPA.....	10
2.1.5	DC-HSDPA.....	10
2.1.6	LTE .....	11
2.2	Matkaviestintaajuudet Suomessa.....	11
3	RADIOTEKNIikka .....	12
3.1	Desibeli .....	12
3.1.1	Desibeli radiotekniikassa.....	13
3.1.2	Vahvistus ja vaimennus.....	14
3.2	Radioaaltojen eteneminen.....	15
3.2.1	Vapaantilan vaimennus .....	15
3.2.2	Esteet ja vaimeneminen.....	16
4	ANTENNI .....	17
4.1	Antennin vahvistus .....	17
4.2	Liikkuvan laajakaista antennin valinta .....	18
4.2.1	Sisäiset antennit.....	18
4.2.2	Lisäantennit .....	19
4.3	Antennin asennus.....	19
4.3.1	Antennin suunta.....	20
4.3.2	Kaapelit ja adapterit .....	20
5	ANTENNIMITTAUKSIA .....	21
5.1	Yagi antenni.....	21
5.2	Ympärisäteilevä antenni .....	26
5.3	Paneeliantenni.....	29
5.4	Kooste .....	33
6	YRITYS OY.....	34
7	YHTEENVETO .....	36
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38

Lyhenteet

2G	Second generation
3G	Third generation
4G	Fourth generation
dB	Decibel
dBf	Decibel as referring to 1 femtowatt
dB <sub>i</sub>	Decibel isotropic
dB <sub>m</sub>	Decibel as referring to 1 milliwatt
DC-HSDPA	Dual Carrier – High Speed Downlink Packet Access
EDGE	Enhanced Data rates for Global
Gbps	Gigabits per second
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
Kbps	Kilobits per second
LTE	Long Term Evolution
Mbps	Megabits per second
MHz	Mega hertz
mW	Milli watt
pW	Pico watt
SMA	SubMiniature connector A
SW9	Adapteri tyyppi
TS9	Adapteri tyyppi
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli selvittää eri antenni vaihtoehtojen toimivuutta ja luotettavuutta kaupunkialueella, sekä radiosignaalin vaimenemista, kun kaapelia lisätään antennin ja päätelaitteen väliin. Tausta mittaustarpeen merkitys nousee, koska nykyaikaisten rakennusten rakennusmateriaalit aiheuttavat usein ongelmia mobiiliverkon kuuluvuudelle sisätiloissa.

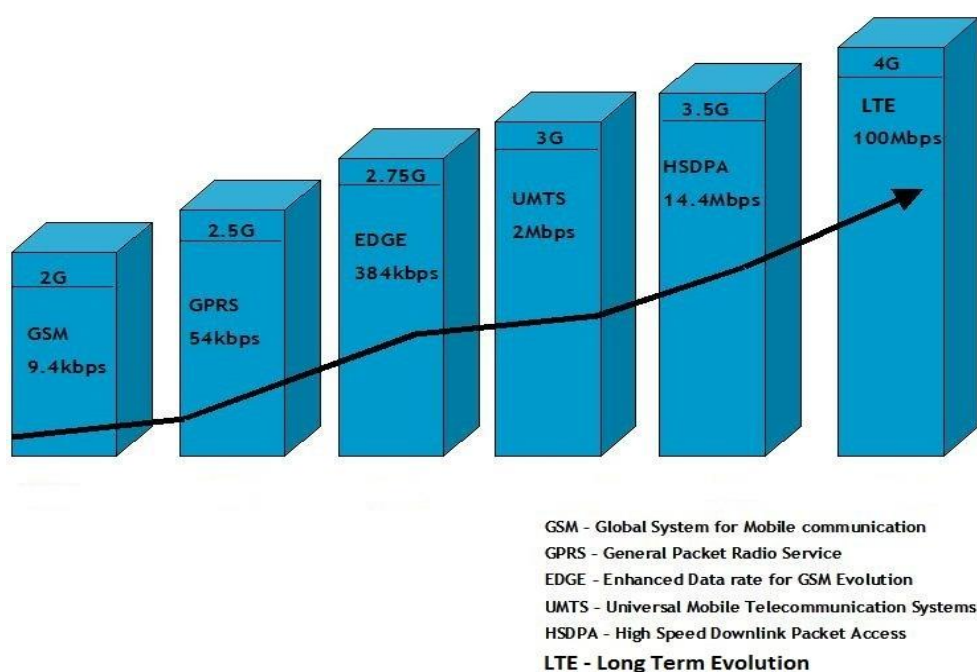
Työssä esitellään pintapuolisesti eri matkaviestin tekniikoita, aina 2G:stä 4G:hen asti. Työn kannalta on oleellista ymmärtää kuinka radiosignaalit käyttäytyvät maanpinnan läheisyydessä, ja mitkä asiat vaikuttavat sen etenemiseen. Heijastuminen, vaimeneminen ja taittuminen vaikuttavat kaikki tukiasemalta lähtevän radiosignaalin voimakkuuteen.

Viimeisenä esitellään mittaukset ja johtopäätökset. Mittaukset tehtiin Anritsun Spektri analysaattorilla, joka on tarkoitettu muun muassa 3G-signaalin voimakkuuksien mittaamisiin. Mittaukset suoritettiin käyttämällä 2100 MHz:n 3G-taajuusaluetta, sillä kyseinen 3G-taajuusalue toimii voimakkaimmin kaupunkialueilla. Mittaukset suoritettiin asentamalla ja tarvittaessa suuntaamalla antennit ulos kohti tukiasemaa, jonka jälkeen antenni kytkettiin spektri-analysaattoriin ja mitattiin analysaattorin tuleva teho. Mittausten välissä antennin kaapelia jatkettiin. Mittaukset toistettiin useaan kertaan, jolloin saatiin mahdolliset virhemittaukset poistettua. Lopussa käytiin erään satakuntalaisen yrityksen luona ratkomassa heidän 3G-kuuluvuusongelmaansa. Projektista on kirjoitettu opinnäytetyöhön oma kappale.

## 2 MATKAVIESTIN TEKNOLOGIA

### 2.1 Tiedonsiirto tekniikat

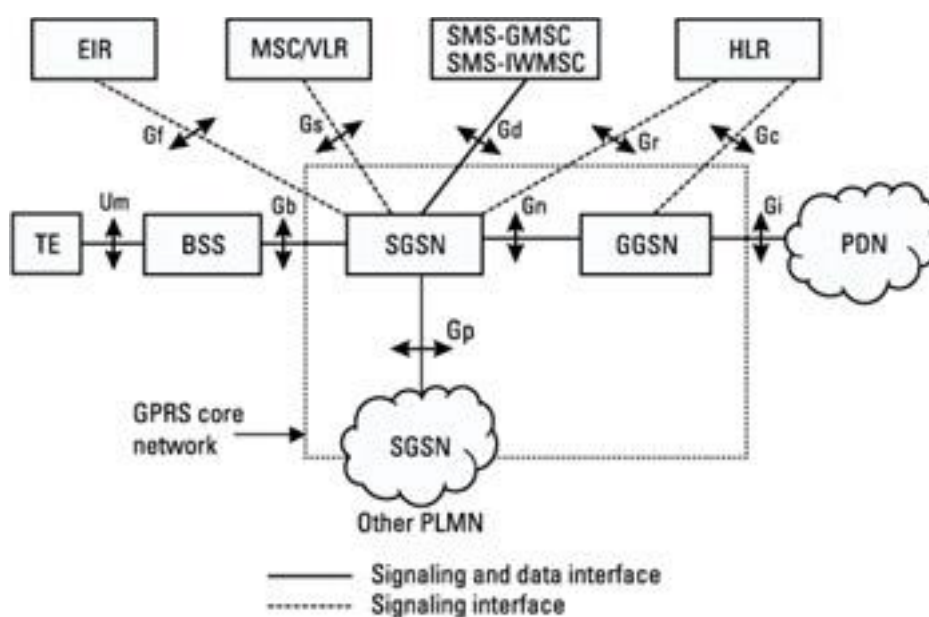
Suomessa käytettäviä tiedonsiirtotekniikoita ovat GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, DC-HSDPA ja LTE. Kuvassa 1 on esitelty tiedonsiirtotekniikan kehitys 2G yhteydestä aina 4G yhteyteen. Keskeisiä tekijöitä tiedonsiirtonopeuden kasvuun ovat tehokkaammat modulaatiot, moniantennitekniikan kehitys ja eri etenemisteitä tulevien radiosignaalien yhdistäminen.[12]



Kuva 1. Tiedonsiirtotekniikoiden kehitys

### 2.1.1 GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) on GSM (Global System for Mobile Communications) ja 3G verkon mobiili datapalvelu. GPRS tarjoaa yleensä 56 – 114 kbps:n datanopeuden. 2G-tekniikan ja GPRS-tekniikan yhdistymistä kutsutaan yleisesti 2.5G-tekniikaksi. Jos SMS-viestejä lähetetään GPRS-tekniikan avulla, nousee viestin lähetysmäärä jopa 30:neen viestiin minuutissa, kun taas GSM-tekniikalla lähetettyjen viestien määrä on noin 6 – 10 viestiä minuutissa[11]. Kuva 2 kuvastaa GPRS palvelun loogista arkkitehtuuria.



Kuva 2. GPRS arkkitehtuuri (www.etutorials.org)

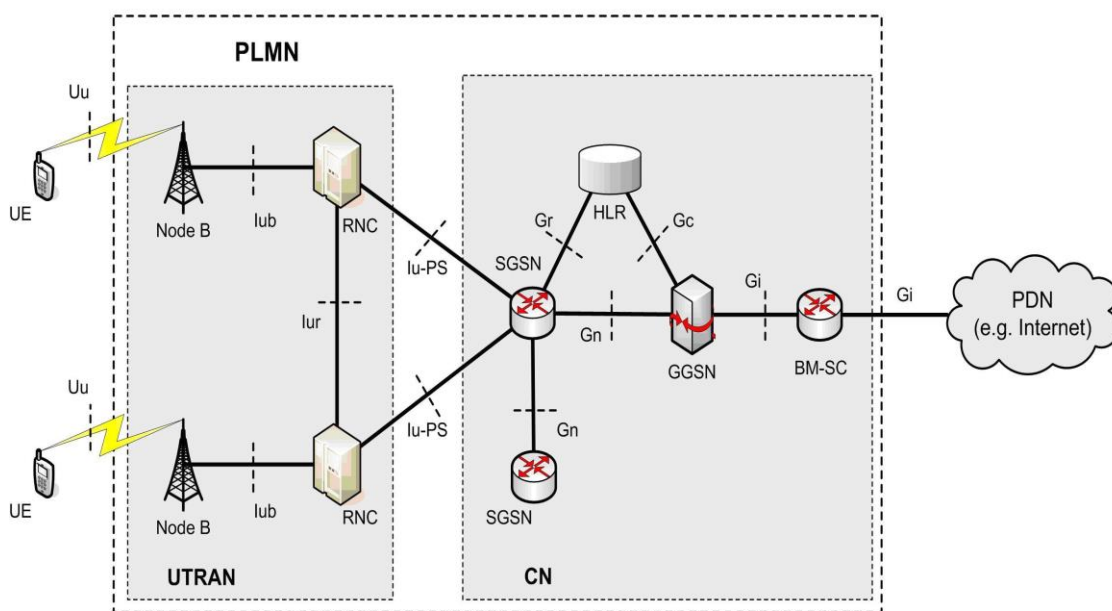
### 2.1.2 EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for Global) – standardi mahdollistaa teoriassa 473.8 kbps:n vastaanotto ja lähetysnopeuden. Käytännössä käyttäjien saavuttamat vastaanotto siirtonopeudet ovat keskimäärin 160 – 200 kbps:n luokkaa, parhaimmillaan vastaanottosuunnassa nopeudeksi on mitattu 296 kbps. Vastaavasti lähetys nopeus on keskimäärin 80 – 160 kbps ja parhaimmillaan on mitattu 236.8 kbps:n lähetysnopeus. EDGE - tekniikassa on keksimäärin kolme tai neljä kertaa suuremmat vastaanotto ja lähetysnopeudet kuin GPRS-tekniikassa[12].



### 2.1.3 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinverkko. UMTS- tavoitteena jo suunnitteluvaiheessa oli saada äänenlaatu ja palvelut samalle tasolle, kuin mitä ne ovat kiinteässä verkossa. Muita tavoitteita oli muun muassa tuki piiri- ja pakettikytkentäiselle liikenteelle ja radiokaistan mahdollisimman tehokkaalle käytölle. Tiedon- siirrossa UMTS-verkon nopeudeksi kaavailtiin jopa 2Mbps:n siirtonopeutta. Vaste- aika perus UMTS-tekniikassa on noin 200 ms (milli second) luokkaa, kun taas GPRS- ja EDGE-tekniikassa vasteaika on noin 500 ms luokkaa. Kuvassa 3 on kuvattu UMTS-verkon arkkitehtuuri.



Kuva 3. UMTS-verkon arkkitehtuuri.

#### 2.1.4 HSDPA

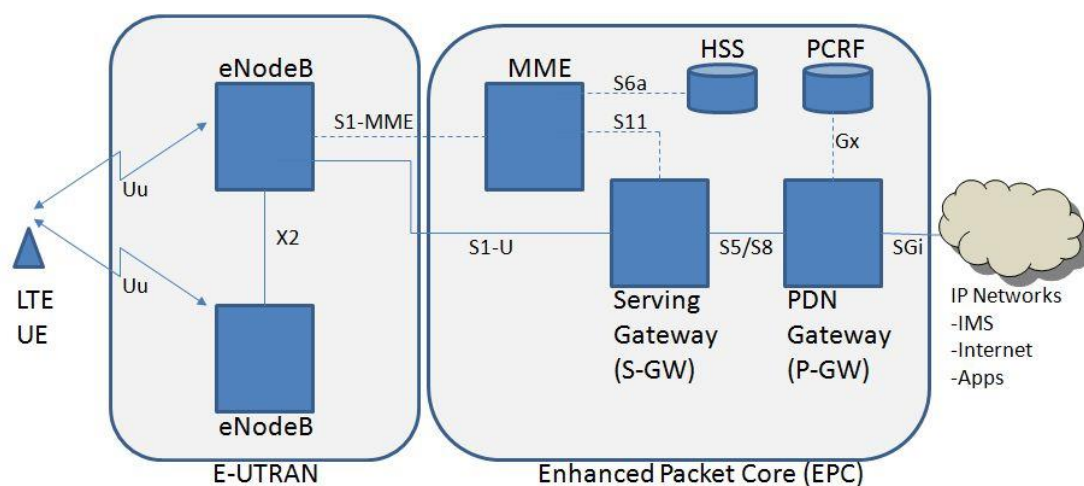
HSDPA (High – Speed Downlink Packet Access) on matkaviestinten yhteyskäyttö, jonka tarkoituksena on nopeuttaa UMTS pohjasta 3G-verkkoa. Nopeutus koskee vain latausnopeutta, eli liikennettä verkosta laitteelle. HSDPA:n teoreettinen maksiminopeus on nykyään 21 Mbps, mutta käytännössä tiedonsiirtonopeus jää huomattavasti alle tuon nopeuden. Yleinen tiedonsiirtonopeuden vaihteluväli HSDPA-tekniikalla on 5–15 Mbps[12].

#### 2.1.5 DC-HSDPA

DC-HSDPA (Dual Cell / Carrier High-Speed Downlink Packet Access) on HSDPA laajennus, joka yhdistää saman tukiaseman kahden eri taajuuskaistan tiedonsiirtokapasiteetit. Teoreettinen latausnopeus verrattuna HSDPA-tekniikkaan kaksinkertaistuu 21 Mbps:n aina 42 Mbps:ään. Myös DC-HSDPA:n todelliset tiedonsiirtonopeudet ovat huomattavasti matalampia, kuin teoreettinen tiedonsiirtonopeus. Yleinen tiedonsiirtonopeuden vaihteluväli DC-HSDPA tekniikalla on 15–28 Mbps[12].

### 2.1.6 LTE

LTE:n (Long Termi Evoluution) tarkoituksena on kasvattaa datan siirtonopeuksia, lyhentää viivettä ja parantaa palveluita. LTE on Suomen ensimmäisiä 4G – tekniikkaa käyttävä verkko. Kansainvälisen televiestintäliiton ITU:n määritelmän mukaan 4G:n huippunopeus laitteeseen tulisi olla hitaassa tai paikallaan pysyvässä liikkeessä jopa 1Gbps ja nopeassa liikkeessä 100 Mbps. Käytännössä LTE-verkon nopeudet ovat vielä merkittävästi alhaisempia, kuin mitä määritelmän mukaiset normit ovat. Vastaanotto nopeuden vaihteluväli LTE-verkossa on noin 10–100 Mbps luokkaa ja lähetyksenopeus on noin 5–20 Mbps luokkaa. 4G-verkon kaistan leveys on 10 MHz–20 MHz, taajuusalueesta riippuen, kun taas 3G:n kaistanleveys on 5 MHz: luokkaa. Kuvassa 4 on kuvattu LTE-verkon arkkitehtuuri[12].



Kuva 4. LTE-verkon arkkitehtuuri

### 2.2 Matkaviestintaajuudet Suomessa

Matkaviestintaajuudet Suomessa on jaettu neljän operaattorin kesken, DNA Oy, Elisa Oyj, TeliaSonera Finland Oyj ja Ålands Telekommunikation Ab. Edellä mainituista operaattoreista kolme, (DNA, Elisa ja TeliaSonera) jakavat Manner – Suomen taajuusalueet keskenään. Ahvenanmaan maakunnan matkaviestintaajuudet jakavat seuraavat operaattorit: Ålands Telekommunikation Ab, Elisa Oyj ja TeliaSonera Finland Oyj. Suomessa käytetään seuraavia matkaviestintaajuus alueita: 800MHz (liite 1.), 900MHz (liite 1), 1800MHz (liite 1), 2100MHz (liite 1), 2600MHz (liite 1).[2]

### 3 RADIOTEKNIikka

Radiotekniikalla tarkoitetaan radioaaltojen noudattamiin luonnonlakeihin perustuvaa toimintaa, jonka avulla radioaaltojen tarjoamat mahdollisuudet ovat saatettu palvelemaan ihmisen päämääriä. Tunnetuimpia ihmisiä palvelevia radiotoimintoja ovat muun muassa: kiinteä – ja siirtyvä tietoliikenne, kuten radiolinkit ja matkapuhelimet, yleisradiotoiminta, kuten televisio ja ääniradio-lähetykset[7].

Radiotekniikalla tarkoitetaan myös menetelmiä ja tapoja, joilla tuotetaan, käsitellään, tutkitaan ja hyödynnetään radioaaltoja, jotka tekevät radiotoiminnot mahdollisiksi (kuva 1). Sähköiset piirit ja laitteet, joiden mitatut tulokset ovat aallonpituuden luokkaa kuuluvat radiotekniikkaan[7].

#### 3.1 Desibeli

Desibelillä mitataan tehosuuruuden suhteita logaritmisella asteikolla. Desibeliä käytetään tavallisimmin kahden signaalin väliseen tehosuhteen ilmaisuun, toisin sanoen desibeliä käytetään signaalin vahvistuksen tai vaimennuksen ilmaisuun. Desibeli on logaritminen ja tehosuureille pätee kuvan 5 mukainen kaava[8].

$$\text{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{mitattu teho}}{\text{vertailuteho}} \right)$$

Kuva 5. Desibelin laskukaava

### 3.1.1 Desibeli radiotekniikassa

Radiotekniikassa desibelimäärää mitataan usein suhteessa milliwattiin, jollain lyhenneeksi muodostuu dBm (decibel milliwatt). Tätä yksikköä käytetään esimerkiksi radiopuhelimissa, jonka vastaanottimen herkkyys saattaa olla esimerkiksi -105 dBm. Yhden milliwatin teho on 0 dBm ja +30 dBm teho vastaa 1 000 mW (milliwatt) eli yhden watin tehoa[8].

dBf (decibel femtowatt) puolestaan tarkoittaa desibelin suhdetta femtowattiin verrattuna. Vertailukohteenä on  $10^{-15}$  W (Watt) teho. Ero dBm - yksikköön on -120 dB, toisin sanoen 1 f (femtowatt) eli 0 dBf vastaa teho suhteeltaan - 120 dBm tehosuhdetta. Vastaavasti 1mW (milliwatt) eli 0 dBm on tehosuhteeltaan yhtä suuri, kuin +120 dBf tehosuhte[8].

dBf (decibel microvolt) kuvastaa desibelimäärää suhteessa mikrovolttiin. Tätä desibeli - yksikköä käytetään esimerkiksi yhteisantenniverkoissa ilmaisemaan antenniliittimestä saatua jännitettä[8].

### 3.1.2 Vahvistus ja vaimennus

Desibeleissä vahvistusta kuvataan  $+x$  dB ja vaimenemista  $-x$  dB.  $+3$ dB:n vahvistus tarkoittaa sitä, että mitattu teho on kaksinkertainen verrattuna vertailutehoon.  $-3$ dB:n vaimennus tarkoittaa, että mitattu teho on vain puolet vertailutehosta. Desibelin vaimennus ja vahvistus voidaan laskea kuvan 5 mukaisella kaavalla. Jos kaavalla laskettu tulos on positiivinen, on kyseessä vahvistus, ja jos tulos on negatiivinen, on kyseessä vaimennus. Kuvassa 6 on esitetty desibeli vahvistuksen ja vaimennuksen muistisääntöjä.

3 dB	= tehon 2-kertainen muutos, esim. 1 mW $\rightarrow$ 2 mW
6 dB	= 3 dB + 3 dB = tehon 2 · 2 = 4-kertainen muutos
9 dB	= 3 dB + 3 dB + 3 dB = tehon 2 · 2 · 2 = 8-kertainen muutos
10 dB	= tehon 10-kertainen muutos
20 dB	= tehon 10 · 10 = 100-kertainen muutos
30 dB	= tehon 10 · 10 · 10 = 1000-kertainen muutos
-3 dB	= tehon puolittuminen (vahvistus $\frac{1}{2}$ ), esim. 1 mW $\rightarrow$ 0,5 mW
-6 dB	= tehon $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0,25$ -kertainen muutos, esim. 1 mW $\rightarrow$ 0,25 mW
	jne.

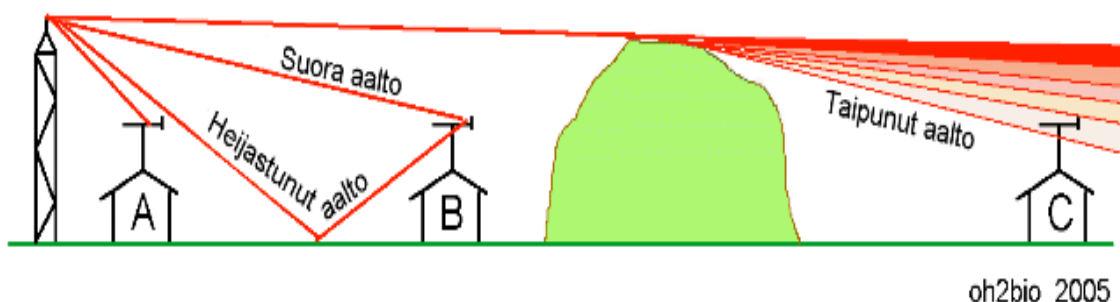
Kuva 6. Desibeli vaimennus ja vahvistus esimerkkejä.

### 3.2 Radioaaltojen eteneminen

Esteettömässä tilassa, kuten avaruus, radioaallot etenevät esteettömästi ja vaimenevat etäisyyden kasvaessa. Esteettömässä tilassa radioaaltojen vaimenemista voidaan kuvastaa vapaan tilan vaimenemisen kaavalla (kuva 7). Radioaallot eivät kuitenkaan juuri koskaan etene täysin vapaassa tilassa, sillä rakennukset, puut ja maan korkeuserot, kuten kukkulat, mäet ja vuoret ovat tyypillisiä maan päällä olevia esteitä radioaaltojen etenemiselle (kuva 8). Radioaallot kohtaavat myös ilmassa lukuisia niitä heikentäviä esteitä [9].

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

kuva 7. Vapaantilan vaimennus.



Kuva 8. Radioaallon eteneminen maan pinnan läheisyydessä (www.mattikaki.fi)

#### 3.2.1 Vapaantilan vaimennus

Vaimentuminen johtuu signaalin tehon heikkenemisestä ja amplitudin pienenemisestä. Radioaaltojen lähettimien teho säteilee joka suuntaan, kuten maapallon pinnalle, jolloin signaalin voimakkuus heikkenee etäisyyden kasvaessa. Vaimentamisen suuruuteen vaikuttavat etäisyys, väliaine ja taajuus. Vapaassa tilassa etenevän radioaallon taajuus voidaan laskea kuvan 7 kaavalla. Vaimentumiseen vapaassa tilassa vaikuttavat etäisyys lähettimestä ( $d$ ) ja signaalin aallonpituus ( $\lambda$ ). etäisyyden ja aallonpituuden tulee olla samassa mittayksikössä[9].

### 3.2.2 Esteet ja vaimeneminen

Hyötykäytössä radioaaltojen signaalit eivät juuri koskaan etene vapaassa tilassa, vaan kohtaa matkalla niin ulkoisia, kuin sisäisiä esteitä, jotka vaimentavat signaalin tehoa. Yleisimpiä ulkoisia esteitä ovat rakennukset, puut ja maaston muodot, kuten kukkulat ja mäet. Sisäisiä heikentäjiä ovat rakennusten rakennusmateriaalit, kuten tiili, betoni ja puu. Myös ikkunat ja ovet heikentävät radioaaltojen signaalin voimakkuutta sisätiloissa. Kuvan 9 taulukoon on kerätty muutamia esteitä, jotka heikentävät signaalia. Tulokset eivät ole absoluuttisia, vaan suuntaa-antavia, koska taulukossa olevia elementtejä on monia erilaisia. Mittaustulokset on saatu Tampereen teknillisen yliopiston raportista vuodelta 2012 [ 10].

Taajuus [MHz]/ Läpäisyvaimennus [dB]	500	1000	2000	3500	5000
Tiili (180 mm)	4	5.5	8	20	32
Tiili (180 mm) ja betonielementti (203 mm)	21	25	33	60	67
Tiili (180 mm) ja kevytlekaharkko	8	11	10	29	33
Betonielementti (208 mm)	20	23	29	47	49
Kevytlekaharkko (2 x 203 mm)	13	17	18	25	28
Raudoitettu betonielementti (203mm) 140 x 140 mm	22	28	31	50	53
Raudoitettu betonielementti (203 mm) 70 x 70 mm	26	30	37	53	58
Ikkunalasi (13 mm)	1	2	3	0.5	0.5
Kuiva puu (38 mm)	2	3	3	3	3
Kuiva puu (152 mm)	5	6	9	19	20

kuva 9. Yleisimpiä rakennus materiaaleja ja niiden aiheuttamia vaimennuksia [10].

Uusissa rakennuksissa, joissa käytetään eristeenä uretaania ja ikkunalaseina selektiiviä, ovat erittäin energiaystävällisiä, mutta saattavat samalla vaimentaa radiosignaalin kuuluvuuden olemattomiin.



## 4 ANTENNI

Antenni on laite, jonka avulla voidaan lähettää sähkömagneettista energiaa ympäröivään avaruuteen, tai vastaanottaa sähkömagneettista energiaa avaruudesta, tarkoituksenmukaisella tavalla. Jokainen sähkölaite lähettää ja vastaanottaa säteilyä jonkin verran. Antennin tunnuspiirteinä ovat säteilyn vahvistaminen ja tarkoituksenmukaisuus. Antennin koko ja ulkomuoto vaihtelevat riippuen käyttötaajuudesta ja – tarkoituksesta, se voi olla esimerkiksi puunoksalle heitetty lanka, talon päätyyn asennettu yagi antenni tai tietokoneella suunniteltu heijastimen tarkkuuspinta.[1.]

### 4.1 Antennin vahvistus

Antennin vahvistukseen halutulla taajuudella vaikuttavat sen mitoitus ja paikka sekä asento maahan ja muihin heijastaviin sekä tehoa ja signaalia syöviin pintoihin nähden. [3]. Antennin vahvistusta mitataan desibeleissä. 3dB (decibel): n antennin vahvistus merkitsee, että vastaanotettu teho antennista on 3dB (decibel) suurempi (kaksi kertaa suurempi), kuin mitä se olisi häviöttömän isotrooppisen antennin kanssa, jossa on sama syöttöteho. Antennien vahvistus suurilla lautasantenneilla voi kohota jopa 40 – 50 dB, kun taas lyhyt dipoliantenneilla vahvistusta ei saada kuin 1,76 dB. Teoriassa antennin vahvistusteho ei voi koskaan mennä alle 0 dB:in [4]. Antennien tuotetiedoissa ilmoitettuihin vahvistuksiin on yleensä huomioitu antennista aiheutuva häviö.

## 4.2 Liikkuvan laajakaista antennin valinta

Antennin valinnassa kannattaa huomioida muutamia asioita. Antennin ja antenniin kytkettävän laitteen välinen etäisyys. Etäisyyden määrittäessä tulee huomioida kaapelin aiheuttama teoreettinen häviö 0,5 dB/m. Esimerkiksi 12 dBi (decibel isotropic) vahvistama antennin vahvistus nollaantuu 36 metrin kohdalla,  $0,5 \text{ dB/metriä} \times 24 \text{ metrillä} = 18 \text{ dB (decibel)}$ . Teoriassa antenni toimii kaikilla 3G(3 generation) ja 4G (4 generation), mutta parhaan tuloksen saamiseksi kannattaa valita antenni, jonka optimaalinen toimivuus on halutun taajuusalueen kohdalla.

### 4.2.1 Sisäiset antennit

Kaikissa liikkuvanlaajakaistan modeemeissa on oma antenni. Useimmissa modeemeissa antenni on kokonaan sisäinen ja se on piilotettu modeemin kuoren sisään. Sisäisen antennin etu ulkoisiin lisäantenneihin on sen näppäryys. Sisäantenni ei pysty vääntymään tai murtumaan ilman, että modeemi hajoaa. Huono puoli sisäisessä antennissa on sen heikompi kuuluvuus verrattuna kotelosta ulos tuleviin antenneihin ja erityisesti lisäantenneihin verrattuna[5].

#### 4.2.2 Lisäantennit

Lisäantenneilla saadaan paranneltua kuuluvuutta, mikäli verkon kuuluvuus on heikko. Lisäantennit voidaan ryhmitellä seuraavilla päätavoilla: sisä – ja ulkoantennit, ympärisäteilevät ja suunta-antennit, yksitaajuus – ja laajakaista-antennit. Sisäantennit ovat usein pöydälle sijoitettavia ympärisäteileviä antenniteitä ja ne ovat käteviä liikkuvassa käytössä pienen kokonsa ansiosta[5].

Ulkoantenneista ympärisäteilevät ovat sopivampia esimerkiksi ajoneuvokäyttöön, jolloin tukiaseman suunta vaihtelee jatkuvasti. Kiinteissä ja puolikiinteissä asennuksissa on suunta-antenni ehdottomasti parempi valinta seuraavista syistä: Signaali voimistuu ja toimii suuremmilla etäisyyksillä tukiasemasta ja ympäristön kohinahäiriöt vaimenevat. Lisäksi, jos halutaan yhteys lähellä olevan GSM- tukiaseman ohitse kauempana olevaan 3G- tai 4G- tukiasemaan, on suunta – antenni välttämätön[5].

Laajakaista-antennien etu yksitaajuusantenneihin on se, että laajakaista-antennit toimivat useilla nykyisillä taajuuksilla(800, 900, 1800 ja 2100 MHz). Yksitaajuusantennien vahvistus puolestaan on suurempi[5].

#### 4.3 Antennin asennus

Antennin asennuksessa on otettava huomioon tukiaseman sijainti, tarvittavat kiinnitystarvikkeet antennille sekä mahdolliset jatkokaapelit ja adapterit antennin kiinnittämiseksi haluttuun päätelaitteeseen.

### 4.3.1 Antennin suunta

Antennia suunnatessa on ensisijaisen tärkeää selvittää tukiaseman sijainti. Tukiaseman voi esimerkiksi selvittää seuraavilla tavoilla: näköyhteys tukiasemaan, älypuhelimien ladattavalla erillisellä ilmaissovelluksella tai tiedustelemalla operaattorilta tukiaseman sijaintia. Operaattorilta saadaan tiedot usein koordinaatein, joten kompassille tulee käyttöä. Parhaana vaihtoehtona tukiaseman sijainnin selvittämiseksi on tiedustella sitä operaattorilta, sekä selvittää mikä tukiasemista lähettää nopeinta ja voimakkainta radiosignaalia. Parhaan mahdollisen tehon saamiseksi antennin suuntaus tulee olla muutaman asteen tarkkuudella kohti haluttua tukiasemaa. Asennettaessa antennia kannattaa huomioida, että liikkuvanlaajakaistan antennin asento poikkeaa televisioantennin asennosta. Liikkuvan laajakaistan antenni tulee asentaa asentoon piikit ylös – alas suunnassa, asentaminen piikit vaakatasoon, heikentää signaalia jyrkästi[6]. 3G:n radiosignaalit ovat pystysuuntaan polarisoituja, eli ne etenevät ylös – alas suuntaisella aaltoliikkeellä, kun taas TV – lähetyksissä käytettävät radiosignaalit etenevät sivuttaissuuntaisella aaltoliikkeellä.

### 4.3.2 Kaapelit ja adapterit

Antennien kaapelit ja adapterit ovat suurtaajuuslaitteina herkkiä asennusvirheille ja vaurioille. Kaapelia asennettaessa on hyvä muistaa antaa kaapelin ”elää” ja liikkua vapaasti sekä vältettävä kaapelin taivuttamista liian jyrkkiin kulmiin. Liian jyrkkään taitettu kaapeli saattaa vaurioitua. Kaapelin päässä on usein SMA (SubMiniature version A)- uros liitin. SMA - liittimen piikki on ohut ja herkkä, joten kiinnitä liitin varovasti, mutta napakasti ilman työkaluja. Jatkokaapeleilla voidaan jatkaa antennikaapelin pituutta tiettyyn rajaan saakka. Koska kaapelit vaimentavat signaalin tehoa, on 15 – 20 metriä käytännössä maksimi kaapelin yhteispituus. Muista valita modeemin ja kaapelin välille oikea adapteri. Modeemin ja kaapelin väliin tulee lähes aina adapteri, joka mahdollistaa kaapelin kiinnityksen modeemiin. Yleisimmät modeemeihin tulevien adapterien liitinpäät ovat joko Huaweiin ja ZTE:n käyttämä TS9 – liitin tai ZTE:n käyttämä SW9 – liitin. Uusimmissa Huaweiin liikkuvanlaajakaistan modeemeissa on SMA – liitin, joten ne eivät tarvitse adapteria muuntamaan liittimen tyyppiä[6].

## 5 ANTENNIMITTAUKSIA

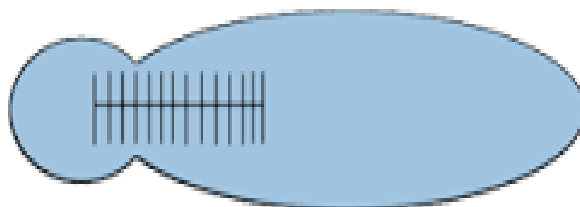
Antennimittauksissa on tarkoituksena tutkia sopivaa antenniratkaisua rivitaloalueelle, jossa antennin tarkka suuntaaminen on likimain mahdotonta. Tarkoituksena on tutkia mikä seuraavista antenni vaihtoehdoista: yagi-, ympärisäteilevä- vai suunnattava paneeli antaa parhaan mahdollisen hyödyn, lisäksi mitataan tehon vaimennus, kun antennijohtoa jatketaan jatkokaapeleilla. Jatkokaapelien teoreettinen vaimennus on 0.5 dB/m. Mitattava taajuusalue on 2100 MHz:n 3G-verkko. Mittalaitteena käytetään Anritsun spektri-analysaattoria. Mittauksissa käytettiin vertailu tehoa 1pw (pico Watt)

### 5.1 Yagi antenni

Yagi antenni (kuva 10), eli suunta antenni. Yagi antenni on paras ratkaisu puolikiinteisiin ja kiinteisiin asennusratkaisuihin. Antennin asennuksessa on erityisen tärkeää saada se kohdistettua mahdollisimman tarkkaan kohti tukiasemaa, koska yagi antennin ottaa signaalia vastaan kapealta, mutta pitkältä matkalta (Kuva 11).

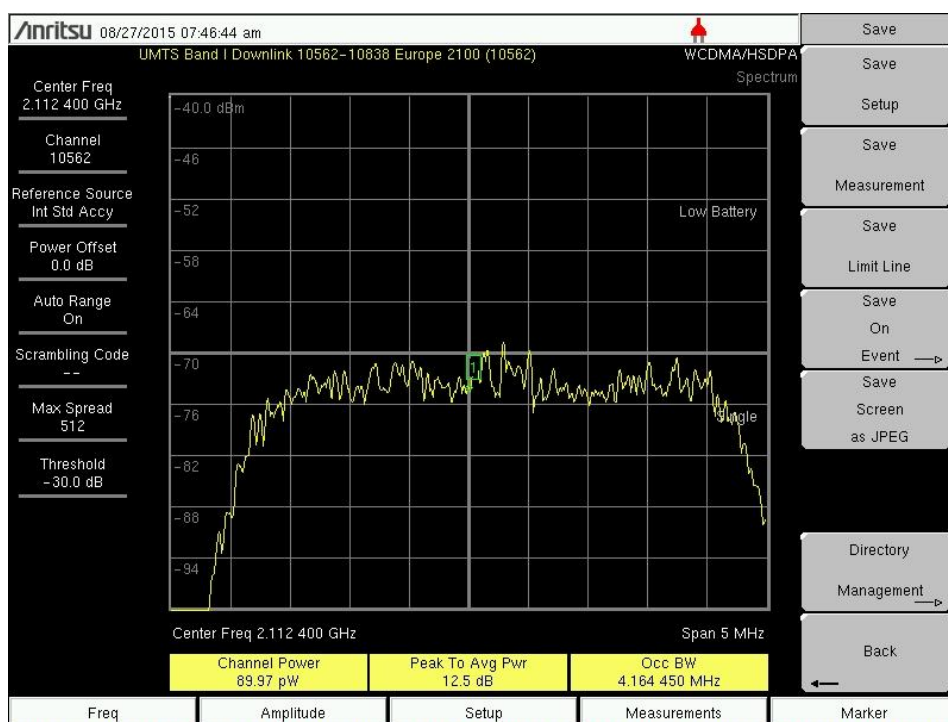


Kuva 10. Yagi eli suunta-antenni.



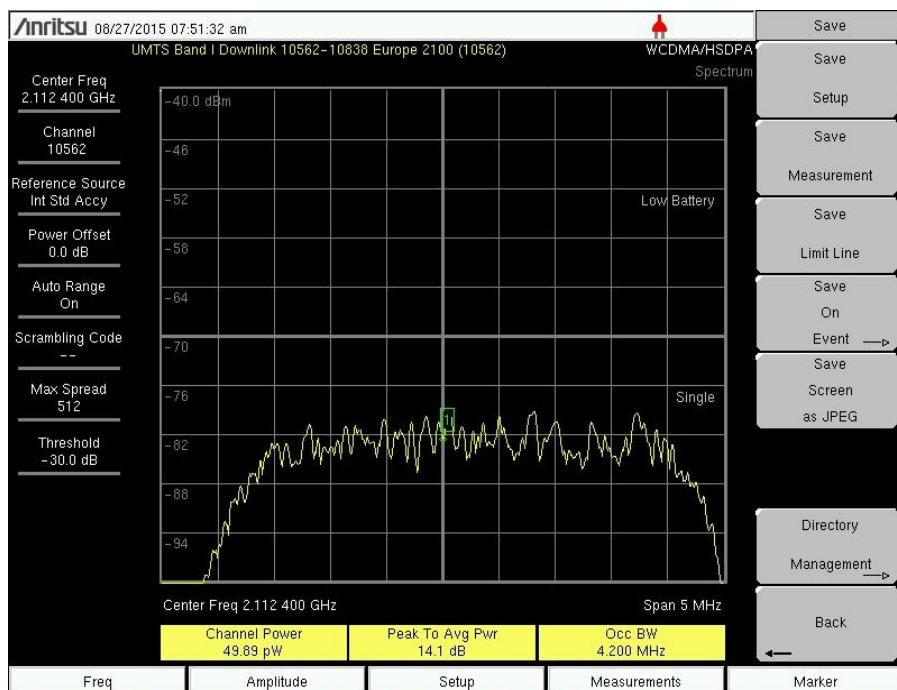
Kuva 11. Yagi antennin suuntakuvio.

Mittauksessa käytettiin 18 dBi:n yagi antennia. Mittauksessa selvitetään antennin signaalitehon muutosta, kun jatkokaapelia lisätään antennin ja mittalaitteen väliin. Antennissa on vakiona 5 metrin antennikaapeli. Suuntausmahdollisuuksien puutteessa antenni sijoitettiin talon seinustalle ja suunnattiin mahdollisimman tarkkaan kohti Porin kaupungin keskustaa, joka tässä tapauksessa sijaitsee luoteen ja pohjoisen välissä. Mittaukset aloitettiin mittaamalla antennin tehoa sen omalla 5 metrin kaapelilla (kuva 12).



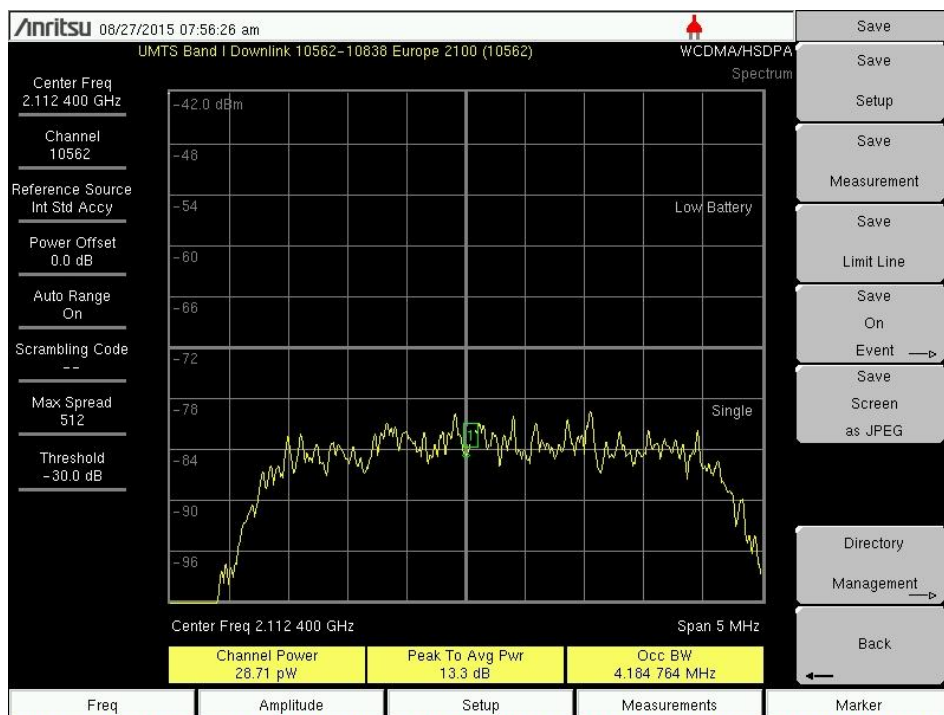
Kuva 12. Yagi antennin teho 5m omalla kaapelilla.

Antennin teho saadaan laskettua kuvan 5 kaavalla, jossa mitattu teho (89.79pW) vertailu teho on aikaisemmin ilmoitettu 1 pW. Kaavaa hyväksikäyttämällä saadaan antennin vahvistukseksi 19.54 dB. Tulos on korkeampi, kuin mitä valmistajan tiedotteessa luvataan antennin vahvistuksen olevan. Kuvassa 13 on ilmoitettu kanavan teho, kun antennin omaa kaapelia jatketaan 5 m jatkokaapelilla.



Kuva 13. Yagi antennin teho, kun kaapelia on jatkettu 5m.

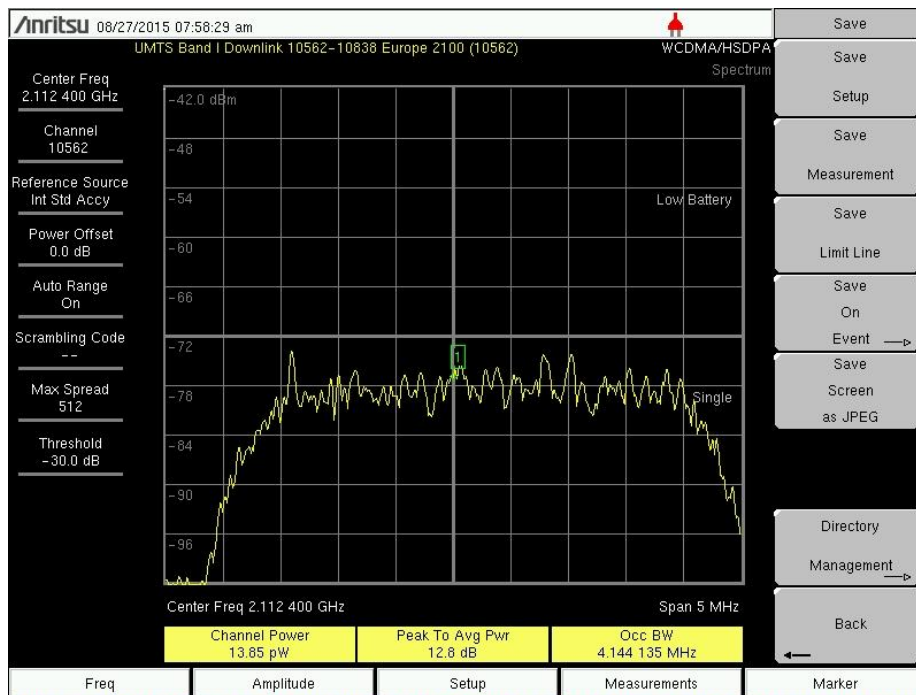
Kuvassa 5 esitetyllä kaavalla saadaan laskettua antennin antama vahvistus kun mitattu teho on 49.89pW ja vertailuteho on edelleen 1 pW. Antennin vahvistukseksi saadaan 16.98 dB. Tuloksia vertailemalla voidaan laskea, että kun antennin kaapelia on jatkettu 5 metrillä, niin vahvistus on laskenut 2.56 dB. Erotuksesta voidaan laskea, että jatkokaapeli on vaimentanut tehoa 0.512 dB/m. Tässä vaiheessa kaapelin kokonaispituus on 10 metriä. Kuvassa 14 kaapelia on jatkettu 10 metrin jatkokaapelilla.



Kuva 14. Yagi antennin teho, kun kaapelia on jatkettu 10m.

Kuvan 5 kaavaa käyttäen voidaan laskea antennin vahvistus, mitattu teho on 28.71 pW ja vertailu teho on 1 pW. Antennin vahvistus 10 metrin jatko-kaapelilla on 14.58 dB. Kun vertaillaan juuri saatua tulosta ja antennin tuomaa vahvistusta, omalla kaapelilla, huomataan, että vahvistus on laskenut 8.13 dB, jolloin kaapelin aiheuttamaksi vaimennukseksi saadaan 0.65 dB/m. Kuvassa 15 antennin kaapelia on jatkettu 12.5 m.





Kuva 15. Yagi antennin teho, kun kaapelia on jatkettu 12.5m.

Kuvan 5 kaavaa käyttäen voidaan laskea antennin vahvistus, kun mitattu teho on 13.85 pW ja vertailu teho on 1 pW. Antennin vahvistus 12.5 metrin jatkoakaapelilla on 11.41 dB. Kun vertaillaan juuri saatua tulosta ja antennin tuomaa vahvistusta omalla kaapelilla, huomataan, että vahvistus on laskenut 4.96 dB, jolloin kaapelin aiheuttamaksi vaimennukseksi saadaan 0.496 dB/m.

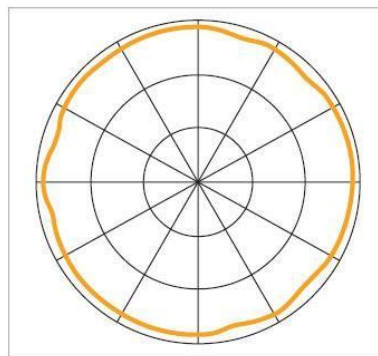
Mittauksissa ei otettu huomioon mahdollisia kaapeleiden liittimistä aiheutuvia signaali häviöitä. Mittauksia tehtiin kolme kappaletta kullakin kaapelin etäisyydellä. Yagi – antennilla mittaus tulokset pysyivät lähes muuttumattomina. Mittauksissa havaittu muutos väli oli noin 0.5 pW luokkaa. Tuloksia vertailemalla voidaan todeta, että yagi – antenni ei ole herkkä ympäristössä oleville häiriötekijöille, kuten rakennuksille tai puustolle.

## 5.2 Ympärisäteilevä antenni

Ympärisäteilevä antenni (kuva 16) on paras ratkaisu, kun tukiaseman sijainnit ja etäisyydet vaihtelevat kokoajan. Ympärisäteilevän antennin suuntakuvio (kuva 17) on nimensä mukaan ympyrä, eli antenni vahvistaa yhtä tehokkaasti jokaisesta suunnasta.

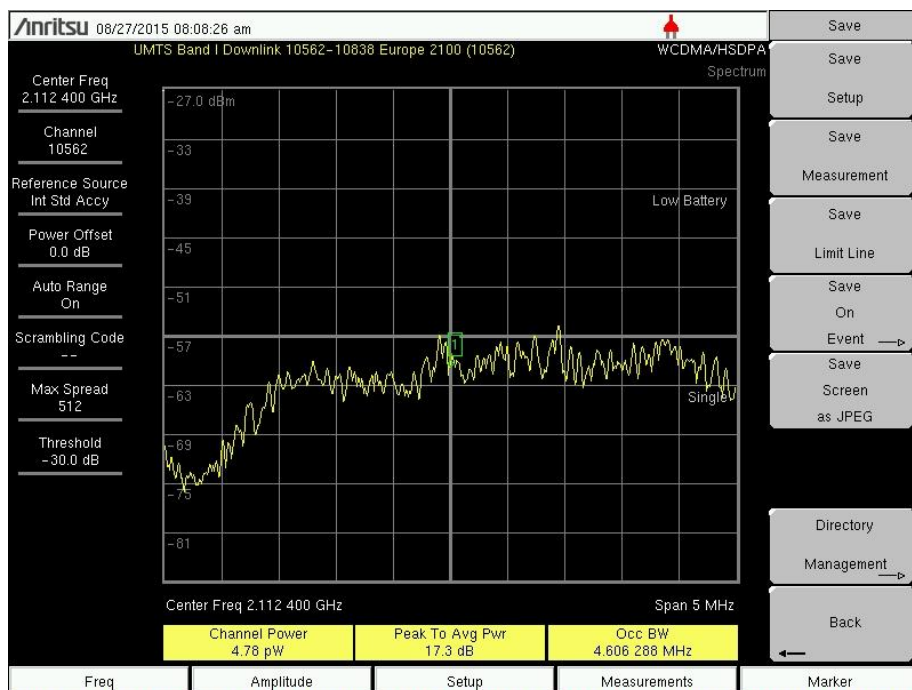


Kuva 16. Ympärisäteilevä antenni



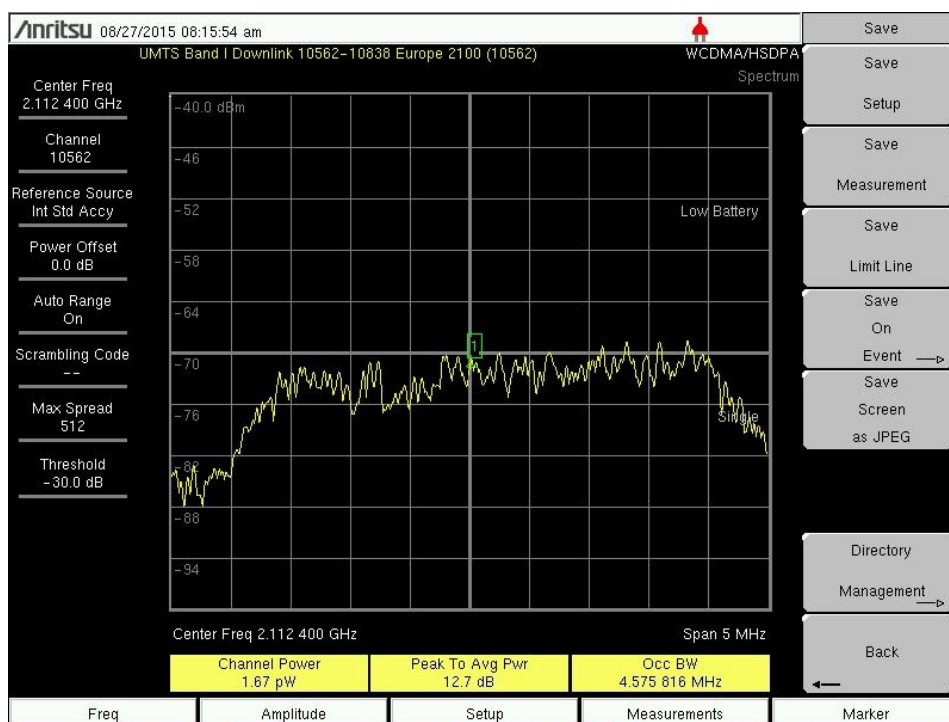
Kuva 17. antennin suuntakuvio

Mittauksessa selvitetään antennin signaali vahvistuksen muutosta, kun jatkokaapelia lisätään antennin ja mittalaitteen väliin. Antennissa on vakiona metrin antennikaapeli. Antenni oli ympärisäteilevä 9 dBi:n antenni, joten sitä ei tarvinnut erikseen suunnata. Mittaukset aloitettiin mittaamalla antennin vahvistusta sen omalla metrin kaapelilla (kuva 18).



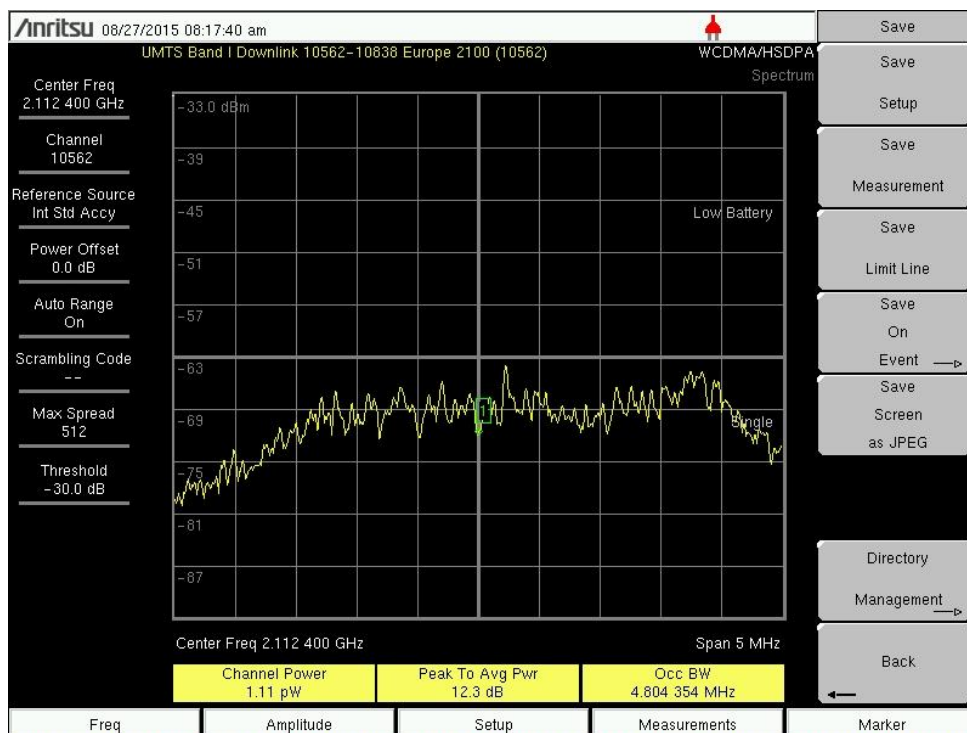
Kuva 18. Ympärisäteilevän antennin teho, ilman jatkokaapelia.

Kuvan 5 kaavalla voidaan laskea antennin vahvistus kun mitattu teho on 4.78 pW ja vertailu teho on 1 pW. Vahvistukseksi saadaan 6.79 dB. Tulos jää valmistajan lupaan 9 dB:i:n alle. Kuvassa 19. Antennin kaapelia jatkettiin 5 metrillä



Kuva 19. Ympärisäteilevän antennin teho, kun kaapelia on jatkettu 5 metrillä.

Desibelin laskukaavaa käyttäen voidaan laskea antennin vahvistus kuvasta x, kun mitattu teho on 1.67 pW ja vertailu teho 1 pW. Antennin vahvistus on 2.22 dB. Kun vertaillaan saatua tulosta ja antennin vahvistusta sen omalla kaapelilla, huomataan, että 5 m kaapelin lisäys laskee vahvistusta 4.57 dB. Vahvistus laski 0.914 dB/m, joka on huomattavasti enemmän, kuin mitä valmistajan ilmoittaman 0.5 dB/m. Kuvassa 20 ympärisäteilevän antennin kaapelia on jatkettu 7.5m.



Kuva 20. Ympärisäteilevän antennin teho, kun kaapelia on jatkettu 7.5 m

Kuvan 20 antennin vahvistus saadaan laskettua desibelin laskukaavalla (kaava 1). Mitattu teho on 1.11 pW ja vertailu teho on 1 pW. Antennin vahvistus on enää 0.45 dB. Kun vertaillaan saatua tulosta ja antennin vahvistusta omalla kaapelilla, voidaan todeta, että vahvistus on laskenut 6.34 dB, eli 0.845 dB / m.

Mittauksissa ei huomioitu ympäristöstä aiheutuvia häiriöitä tai liittimistä aiheutuvia häviöitä. Kutakin mittausta suoritettiin kolme kertaa, jokaisella mittaus kerralla antennin antama teho heitteli rajusti, jopa 3pW. Lopputuloksena voidaan todeta, että ympärisäteilevä antenni on erittäin herkkä ulkopuolisille häiriöille.

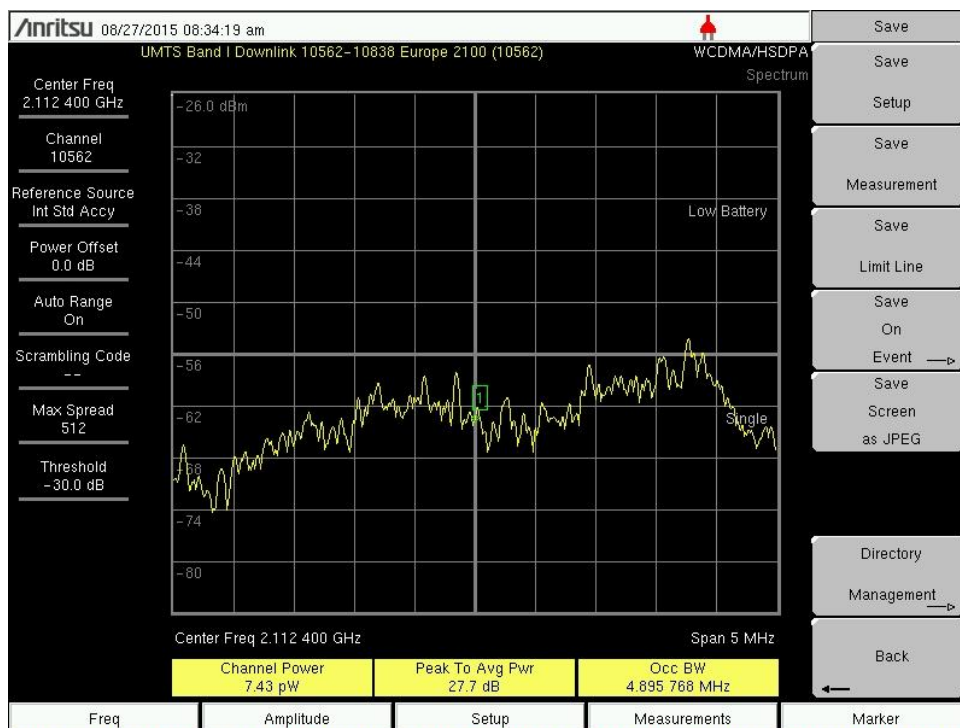
### 5.3 Paneeliantenni

Paneeliantenneita löytyy useita erilaisia, suunnattavia, ympärisäteileviä ja ristipolarisaatio antenneita. Paneeli-antenni (kuva 21) on helppo kiinnittää esimerkiksi suoraan seinään. Ulkomuotonsa ansiosta paneeli-antenni on myös loistava valinta vahvistamaan sisäverkkoja.



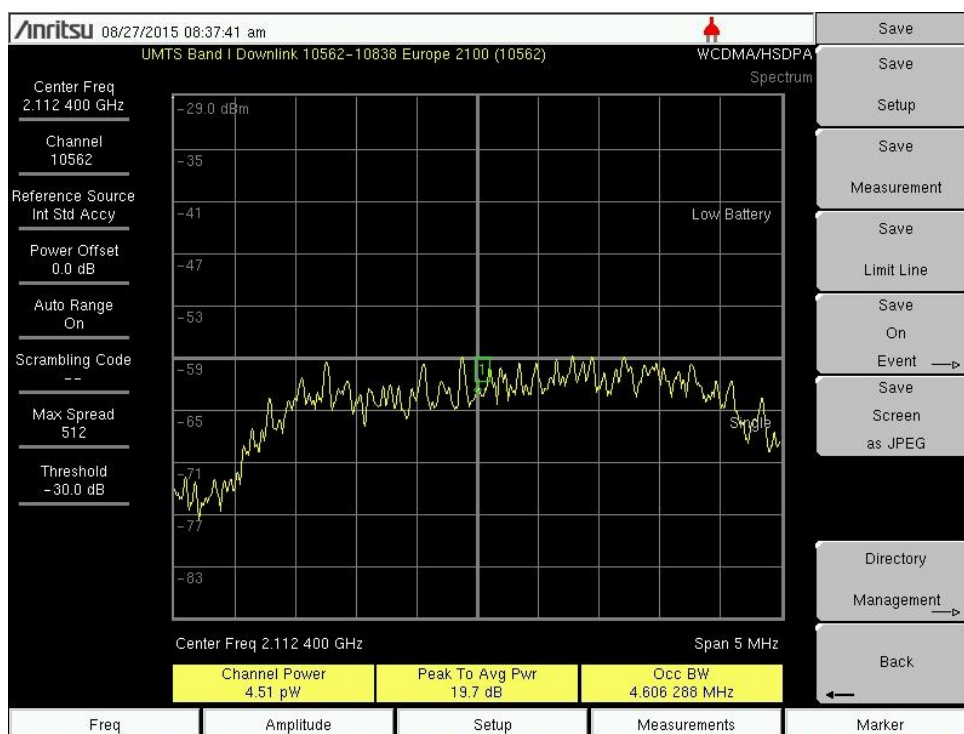
Kuva 21. Paneeliantenni talon seinässä.

Mittauksissa käytettävä paneeliantenni on suunnattava. Antenni on suunnattuna suoraan kohti vastapäistä asutusta. Antennissa oleva kaapeli on ainoastaan 10 cm pitkä, joten mittauksissa ei ole mitattu antennin vahvistusta sen omalla kaapelilla. Valmistajan mukaan antennin vahvistus on 7 – 10 dBi. Kuvassa 22 on paneeli antennin antama vahvistusteho, kun kaapelia on jatkettu 5 metrillä.



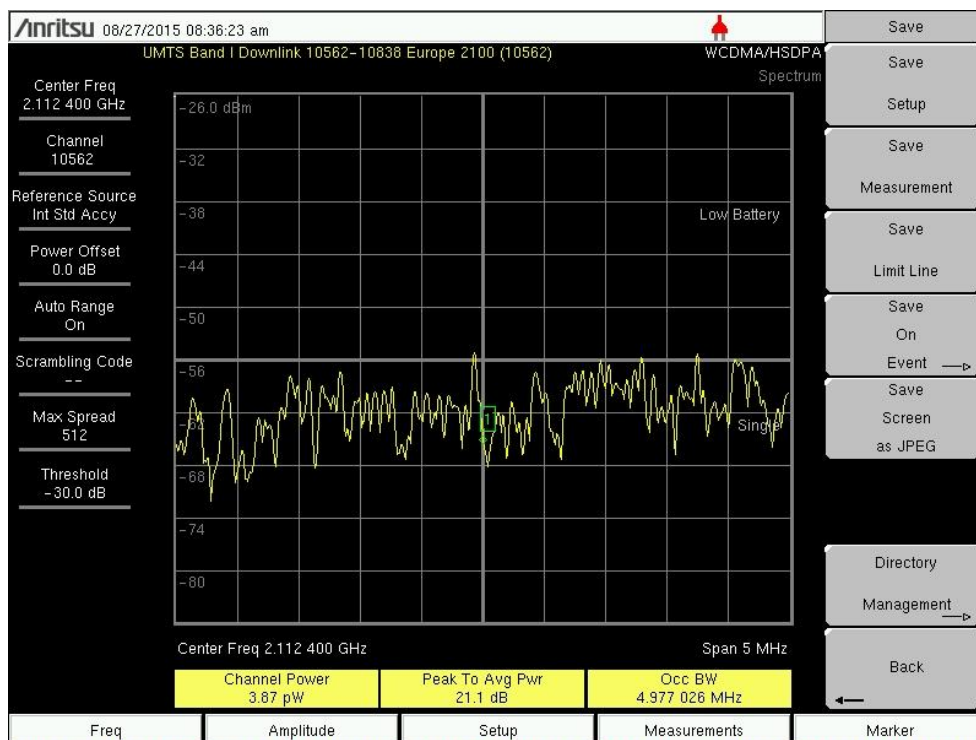
Kuva 22. Paneeliantennin vahvistus teho, kun kaapelia on jatkettu 5m.

Kuvan 5 kaavalla voidaan laskea antennin tuoma vahvistus, kun mitattu teho on 7.43 pW ja vertailu teho on 1 pW. Antennin vahvistus on 8.7 dB. Vahvistus on valmistajan lupaamassa asteikossa. Oletetaan, että antennin vahvistus on tuo valmistajan lupaamat 10 dBi, kun johtoa lisätään 5m, vahvistus laskee 1.3 dB eli 0.26 dB/m. Kuvassa 23 kaapelia on jatkettu 7.5 m.



Kuva 23. Paneeliantennin vahvistus teho, kun kaapelia on jatkettu 7.5m.

Desibelin laskukaavalla (kuva 5, sivu 12) voidaan laskea antennin tuottama vahvistus, kun mitattu teho on 4.51 pW ja vertailu teho on 1 pW. Antennin vahvistus on 6.54 dB. Kun vertaillaan saatua tulosta ja antennin teoreettista vahvistusta, huomataan, että 7.5m kaapelin lisäys laskee vahvistusta 3.46 dB. Vahvistus laskee 0.46 dB/m. Viimeisessä mittauskuvassa (kuva 24) antennin kaapelia on jatkettu 10m.



Kuva 24. Paneeliantennin vahvistus teho, kun kaapelia on jatkettu 10m.

Desibelin laskukaavalla (kuva 5, sivu 12) voidaan laskea antennin tuottama vahvistus, kun mitattu teho on 3.87 pW ja vertailu teho on 1 pW. Antennin vahvistus on 5.88 dB. Kun vertaillaan saatua tulosta ja antennin teoreettista vahvistusta, huomataan, että 10m kaapelin lisäys laskee vahvistusta 4.12 dB. Vahvistus laskee 0.412 dB/m.

Mittauksissa ei otettu huomioon ympäristöstä aiheutuvia häiriöitä, eikä liittimistä aiheutuneita häviöitä. Jokaista mittausta suoritettiin kolme kertaa. Mittaustulosten välinen ero oli pieni, noin 0.6 pW:n luokkaa. Johtopäätöksenä voidaan pitää, että paneeli-antennin ei ole herkkä ympäristöhäiriöille.

Paneeliantennin mittaustulokset olivat yllättävän hyviä, kun huomioidaan, että antennin vastaanottama signaali on tullut taipuen tai heijastaen vastapuoleisesta talosta.



## 5.4 Kooste

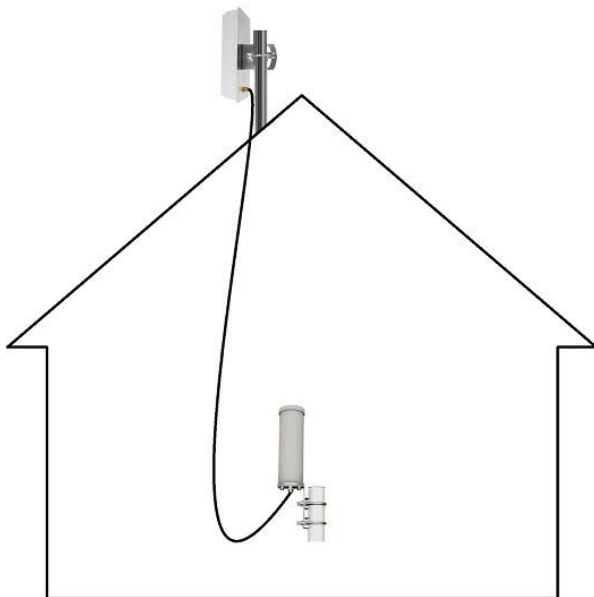
Taulukkoon 1 on kerätty mittauksista saadut tulokset, josta on helppo lukea antennin toimivuus ja vahvistus eri etäisyyksiltä.

Taulukko 1. Mittaustulokset

Antenni/Johto ja vahvistus	Oma vahvistus	5m jatko vahvistus	7.5m jatko vahvistus	10m jatko vahvistus	12.5m jatko vahvistus
Yagi 18 dBi	Toimii 19.54 dB	Toimii 16,98 dB	Ei mitattu	Toimii 14.58 dB	Toimii 11.41 dB
Ympärisäteilevä 9 dBi	Toimii 6.79 dB	Toimii 4.57 dB	Epävakaa 0.45 dB	Ei toimi	Ei toimi
Paneeli 7-10 dBi	Ei mitattu Ei kaapelia	Toimii 8.7 dB	Toimii 6.54 dB	Toimii 5.88 dB	Ei mitattu

## 6 YRITYS OY

Olin heinäkuussa 2015 suunnittelemassa ja toteuttamassa ratkaisuja eräässä satakuntalaisessa yrityksessä: matkapuhelinverkon kuuluvuusongelmiin tuotantorakennuksessa. Rakennus oli uusi peltirakennus. Ongelmana oli, että rakennukseen astuessa sisälle kaikki matkapuhelin verkot lakkasivat toimimasta (DNA, Elisa, TeliaSonera). Suunnittelimme yhdessä työnantajani kanssa erinäisiä ratkaisuja ongelmaan, ja päädyimme seuraaviin ratkaisuihin; ensiksi kokeilisimme passiivisen tukiaseman (kuva 25) pystyttämistä tuotantorakennukseen. Mikäli tämä ei toimisi, toteutimme varasuunnitelman, ja pyytämme tuotantorakennukseen tarvittavan määrän 3G pöytäpuhelimia (Kuva 26).



Kuva 25. Passiivi tukiasema



Kuva 26. 3G pöytäpuhelin

Päästyäni paikalle, testasin puhelimen signaalin voimakkuutta tuotantorakennuksen sisätiloissa, joka antoi tulokseksi -113 dBm, eli ei kenttää. Ensimmäiseksi kokeilimme passiivista tukiasemaa. Tukiasemassa käytimme rakennuksen katolla, 18dBi yagi - antennia vastaanottamaan signaalia ja rakennuksen sisälle kytkimme 12 dBi paneeliantennia lähettämään signaalia sisätiloihin. Asennus sujui mainiosti, mutta harmikseni testausvaiheessa huomattiin, että tukiaseman antama vahvistus ei ollut riittävä. Uusi signaalin voimakkuus oli -110 dBm, eli ei vielä kukaan kenttään, niinpä jouduimme turvautumaan varasuunnitelmaan ja kytkemään 3G pöytäpuhelimet. Puhelinten asennus onnistui loistavasti ja ne saatiin toimimaan toivotulla tavalla. Kuitenkaan

ensisijainen ongelma, eli matkapuhelinten toimimattomuus ei korjaantunut, mutta positiivisena asiana voidaan pitää sitä, että puheluita voidaan kuitenkin nyt vastaanottaa tuotantorakennuksen sisällä.

Kokemukseni ja testitauksieni perusteella ainoa toimiva ratkaisu rakennukseen on luvanvarainen sähköverkkoon kytkettävä aktiivinen GSM-tukiasema. Tukiaseman saa hankittua vain operaattorin kautta ja lupa siihen pitää saada viestintävirastolta.

## 7 YHTEENVETO

Yagi antenni on ehdottomasti paras ratkaisu puolikiinteissä tai kiinteissä asennuksissa, koska sen häiriöherkkyys on todella matala. Jos antenni on riittävän tehokas, ei sitä tarvitse suunnata lähintä tukiasemaa kohden, vaan voit valita sellaisen tukiaseman, johon antenni on mahdollista suunnata. Jatkokaapelit aiheuttavat ainoat häviöt, joten tehokkaan yagi antennin voi huoletta asentaa vähän kauemmaksikin asunnosta, kun muistaa kaapelin aiheuttaman häviön.

Ympärisäteilevä antenni on hyvä ratkaisu, kun tukiaseman etäisyys ja sijainti vaihtuu tiheään. Kiinteisiin ratkaisuihin antennia ei voi suositella, koska se on erittäin herkkä kaikelle mahdolliselle häiriölle. Kiinteissä ratkaisuissa antenni toimii kohtalaisesti, jos kaapelia on vähän, eli antennia ei voi asentaa kauaksi päätelaitteesta. Mikäli jatkokaapelia jatkaa yli 5 metrin verran, häiriöt voimistuvat, eikä antenni pysty tasaanuttamaan tehoa vaan sen teho vaihtelee rajusti.

Suunnattava paneeliantenni on hyvä ratkaisu kiinteisiin tai puolikiinteisiin ratkaisuihin. Antennin herkkyys ulkoisille häiriöille on lähes yhtä pieni kuin yagi antennin. Kovassa tuulessa paneeliantenni on parempi kuin yagi antenni. Paneeliantennin muoto on laatikkomainen ja ohut, joten tuuli ei tartu siihen niin hyvin kuin haravamaiseen, pitkään yagi antenniin. Laatikkomaisuus tuo myös huonoja puolia sillä paneeliantennia on vaikeampi suunnata kuin yagi antennia, ja usein käykin niin, että paneeliantenni ottaa vastaan vain taipuneita tai heijastuneita signaaleja.

Suorittamani mittaukset ja tutkimukset osoittavat, että on tärkeää osata valita oikea antenni eri tilanteisiin ja huomioida tukiaseman sijainti ja kentänvoimakkuus. Uskon työstäni olevan hyötyä heille, jotka ratkovat aihepiiriin liittyviä asiakasongelmia ja niille, jotka suunnittelevat rakennukseen signaalin parannusta.

## LÄHTEET

- 1 Lindell Ismo & Nikoskinen Keijo. 1995. Antenniteoria. OTATIETO
- 2 Radiolupapäätökset. Verkkodokumentti [Luettu 30.06.2015]. Viestintävirasto  
<https://www.viestintavirasto.fi/ohjausjavalvonta/laitmaarayksetpaatokset/lupapaatokset/radiolupapaatokset.html>
- 3 The American Radio Relay League, Inc.2012. The ARRL Handbook for Radio Communications.
- 4 Antenna Efficiency and Antenna Gain. Verkkodokumentti [Luettu 26.07.2015] <http://www.antenna-theory.com/basics/gain.php>
- 5 Antennin valinta. Verkkodokumentti [Luettu 01.08.2015]. Siptune.  
<http://www.siptune.net/tiki-index.php?page=Antennin+valinta>
- 6 Ulkoantennin asennus. Verkkodokumentti [Luettu 01.08.2015]. Siptune.  
<http://www.siptune.net/tiki-index.php?page=Antennin+asennus>
- 7 Antti Räisänen & Arto Lehto. 1993. Radiotekniikka. OTATIETO
- 8 Desibeli. Verkkodokumentti[Luettu 15.08.2015].  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Desibeli>
- 9 Lindell Ismo. Radioaaltojen eteneminen. 1994. OTATIETO.
- 10 Jarno Niemelä, Ari Asp & Yaroslav Sydorov. Verkkodokumentti[ Luettu 15.08.2015]. Tampereen teknillinen yliopisto.  
[https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/niemela\\_radiosignaalin\\_vaimennusmittauksia.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/niemela_radiosignaalin_vaimennusmittauksia.pdf)
- 11 Emmanuel Seurre, Patrick Savelli & Pierre-Jean Pietri. GPRS for Mobile Internet. Verkkodokumentti [Luettu 20.08.2015] .2003.  
<http://etutorials.org/Mobile+devices/gprs+mobile+internet/GPRS+for+Mobile+Internet/>
- 12 Opintojakso. Matkapuhelinjärjestelmät. Luennot lukuvuosi 2013-2014. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Juha Aromaa

## LIITTEET

## LIITE 1

## MATKAVIESTINTAAJUUSKAISTA JAKO

## 800MHz:n matkaviestintajuuskaista[2]

Luvan haltija	Tukiaseman vastaanotto-kaista	Vas- Tukiaseman lähetys- kaista	Tek- niikka	Luvan voima- aika
DNA Oy	832 – 842 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	791 – 801 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	1.1.2014 – 31.12.2033
TeliaSonera Finland Oyj	842 – 852MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	801 – 811MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	1.1.2014 – 31.12.2033
	832 – 847 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	791 – 806 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	LTE	3.3.2015 – 31.12.2033
Elisa Oyj	852 – 862 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	811 – 821 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	1.1.2014 – 31.12.2033
Ålands Tele- kommunikation Ab	847 – 862 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	806 – 821 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	LTE	3.3.2015 – 31.12.2033

## 900 MHz:n matkaviestintaajuuskaista[2].

Luvan haltija	Tukiaseman vastaanottokaista	Tukiaseman lähetyskaista	Tekniikka	Luvan voimassaoloaika
DNA Oy	880,100 – 891,700 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	925,100 – 936,700 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD	1.11.2007 – 31.12.2015
TeliaSonera Finland Oyj	891,900 – 903,300 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	936,900 – 948,300 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD	1.1.2007 – 31.12.2015
	885,100 – 902,300 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	930,100 – 947,300 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD	1.1.2007 – 31.12.2015
Elisa Oyj	903,500 – 914,900 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	948,500 – 959,900 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD	1.1.2007 – 31.12.2015
Ålands Telekommunikation Ab	880,100 – 884,900 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	925,100 – 929,900 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD	1.1.2007 – 31.12.2015
	902,500 – 914,900 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	947,500 – 959,900 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD	1.1.2007 – 31.12.2015

## 1800MHz matkaviestitaajuuskaista [2].

TeliaSonera Finland Oyj	1710,100 – 1734,900 MHz (Valtakunnal- linen)	1805,100 – 1829,900 MHz (Valtakunnal- linen)	GSM, UTRA FDD, LTE	- 6.11.2017
	1734,900 – 1747,400 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	1829,900 – 1842,400 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD, LTE	3.3.2015 – 31.12.2033
DNA Oy	1735,100 – 1759,900 MHz (Valtakunnal- linen, poisluettuna Ahvenanmaan maa- kunta)	1830,100 – 1845,900 MHz (Valtakunnal- linen, poisluettuna Ahvenanmaan maa- kunta)	GSM, UTRA FDD, LTE	- 18.3.2019
Elisa Oyj	1760,100 – 1784,900 MHz (Valtakunnal- linen, poisluettuna Ahvenanmaan maa- kunta)	1855,100 – 1879,900 MHz (Valtakunnal- linen, poisluettuna Ahvenanmaan maa- kunta)	GSM, UTRA FDD, LTE	- 6.11.2017
Ålands Tele- kommunika- tion Ab	1747,500 – 1785,000 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	1842,500 – 1880,00 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	GSM, UTRA FDD, LTE	1.2.2015 – 31.12.2033



## 2GHz matkaviestintaajuuskaista [2].

Ålands Telekommunikation Ab	1920,300 – 1935,300 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	2110,300 – 2125,300 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	UTRA FDD	- 18.3.2019
Elisa Oyj	1920,300 – 1940,100 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	2110,300 – 2130,100 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	UTRA FDD	- 18.3.2019
	1935,300 – 1950,100 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	2125,300 – 2140,100 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	UTRA FDD	- 18.3.2019
DNA Oy	1940,100 – 1959,900 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	2130,100 – 2149,900 MHz (Valtakunnallinen, poisluettuna Ahvenanmaan maakunta)	UTRA FDD	- 18.3.2019
TeliaSonera Finland Oyj	1959,900 – 1979,700 MHz (Valtakunnallinen)	2148,900 – 2169,700 MHz (Valtakunnallinen)	UTRA FDD	- 18.3.2019
	1964,900 – 1979,700 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	2154,900 – 2169,700 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	UTRA FDD	- 18.3.2019

## 2.6 GHz Matkaviestintaaajuuskaista [2].

DNA Oy	2500,000 – 2520,000 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	2620,000 – 2640,000 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	- 16.12.2029
TeliaSonera Finland Oyj	2520,000 – 2545,000 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	2640,000 – 2665,000 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	- 16.12.2029
	2500,000 – 2505,000 MHz 2510,000 – 2540,000 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	2620,000 – 2625,000 MHz 2630,000 – 2660,000 MHz	LTE	3.3.2015 – 31.12.2033
Elisa Oyj	2545,000 – 2570,000 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	2665,000 – 2690,000 MHz (Valtakunnallinen, poislueuttuna Ahvenanmaan maakunta)	LTE	- 16.12.2029
Ålands Telekommunikation Ab	2505,000 – 2510,000 MHz 2540,000 – 2570,000 MHz (Ahvenanmaan maakunta)	2625,000 – 2630,000 MHz 2660,000 – 2690,000 MHz	LTE	3.3.2015 – 31.12.2033