

Taneli Lepistö

## **Ulkoisen antennin hyödyt mobiililaajakaistassa**

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan tutkinto-ohjelma

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoverkkoliikenne

Tekijä: Taneli Lepistö

Työn nimi: Ulkoisen antennin hyödyt mobiililaajakaistassa

Ohjaaja: Alpo Anttonen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 43

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Internet-yhteys pystytään toimittamaan asiakkaalle kaapelin kautta tai langattomasti mobiililaajakaistan avulla. Joskus kuitenkin käy niin, että kohteeseen ei voida toimittaa internet-yhteyttä kaapelin välityksellä, joten vaihtoehdoksi jää 3G ja 4G-yhteys. Tällaisissa tilanteissa yhteyden vahvistamiseen käytetään erilaisia antenneita, jotka vahvistavat teleoperaattorin tukiasemalta säteilevää signaalia.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli saada 3G-yhteys toimimaan mahdollisimman nopeasti erilaisten antennien avulla. Testeissä käytettiin kahta erilaista antennia joista toinen oli ulkoinen suunta-antenni ja toinen oli ympärisäteilevä antenni.

Työssä perehdyttiin suunnattavan ja ympärisäteilevän antennin asennukseen ja toimintaperiaatteeseen, sekä radiotekniikan peruskäsitteisiin. Työn aikana antennien toimivuutta testattiin ja tulokset taulukoitiin ylös. Näiden tuloksien pohjalta laskettiin mistä, antennista saatiin suurin hyöty.

Avainsanat: 3G-yhteys, operaattori, tukiasema, ympärisäteilevä antenni, suunta-antenni

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Networking Technology

Author: Taneli Lepistö

Title of thesis: Benefits of an external antenna in a mobile connection

Supervisor: Alpo Anttonen

Year: 2015

Number of pages: 43

Number of appendices: 0

---

Internet connection can be provided to customers through a cable or wirelessly with the help of mobile communications. Sometimes Internet connection cannot be provided through a cable because of the location or some other reasons, so the only option is 3G or 4G connection. In these kinds of situations different kinds of antennas are used to strengthen the signal that is emitted from the base station of the telecommunications operator.

The goal of this thesis was to get the 3G connection work as fast as possible with the help of different kinds of antennas. Two different kinds of antennas were used in the tests where the other antenna was a directional antenna and the other was an omnidirectional antenna.

In this thesis the installation and operating principles of the directional antenna and the omnidirectional antenna were studied, along with the basics of radio engineering. During the project the functionality of the antennas was tested and the results were tabled. Based on these results it was calculated which antenna gave the best gain.

Keywords: 3G connection, telecommunications operator, base station, omnidirectional antenna, directional antenna

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Työn tausta .....	9
1.2 Työn tavoite .....	9
1.3 Työn rakenne .....	9
2 RADIOTEKNIikka.....	10
2.1 Radioaaltojen eteneminen .....	10
2.2 Radioaaltojen vaimeneminen troposfäärissä .....	12
3 ANTENNIT .....	14
3.1 Antennien vahvistus.....	17
4 3G-YHTEYS.....	19
4.1 Toimintaperiaate .....	19
5 RADIOTAAJUudet.....	21
5.1 3G-taajuudet Suomessa .....	21
6 ANTENNIEN TESTAUS.....	23
6.1 Suunta-antennin asentaminen .....	24
6.1.1 Alkukartoitus ja antennin sijoitus .....	24
6.1.2 Antennin asennus ja suuntaaminen .....	24
6.1.3 Suunta-antennin testaus .....	29
6.1.4 Ympärisäteilevän antennin asentaminen .....	31
6.1.5 Alkukartoitus ja antennin sijoitus .....	32
6.1.6 Ympärisäteilevän antennin testaus .....	32
7 SAATUJEN TULOksIEN VERTAILUA .....	35
7.1 Suunta-antenni verrattuna ympärisäteilevään antenniin .....	36
7.2 Antenneilla saadut parannukset.....	37

8 YHTEENVETO.....	40
LÄHTEET.....	41

## Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Ilmakehän rakenne (Otavan Opisto 2015). .....	12
Kuva 4. Perinteinen suunnattava antenni (STK-Tietopalvelut [Viitattu 10.4.2015]).	14
Kuva 5. Torviantenni nopeudenvälvontatutkassa (Flickr 2012).....	15
Kuva 6. Suuntakuvion polaarinen esitysmuoto. (Wolff. [Viitattu 13.4.2015]). .....	16
Kuva 7. Suuntakuvion suorakulmainen esitysmuoto. (Wolff. [Viitattu 13.4.2015]).	17
Kuva 8. Puoliaaltodipoli (Poole. [Viitattu 29.4.2015]). .....	18
Kuva 9. Antennin vaikutus kuuluvuuteen (Siptune 2010).....	18
Kuva 10. Internet-tikku (Telia Sonera 2013). .....	19
Kuva 11. Verkon rakenne (Tallinn University [Viitattu 13.4.2015]). .....	20
Kuva 12. Elisan kuuluvuuskartta 3G:lle (Elisa 2015).....	22
Kuva 13. Ympärisäteilevä antenni (Deware 2014). .....	23
Kuva 14. Suunta-antenni (Radio-Tv Huvila 2015).....	23
Kuva 15. Yagi-36 professional (Mobile Evolution. [Viitattu 10.4.2015]).....	24
Kuva 16. Televisioantennin elementit vaaka-asennossa. (STK-Tietopalvelut [Viitattu 10.4.2015]).....	25
Kuva 17. 3G-antennin elementit pystysuunnassa .....	25
Kuva 18. Antennikaapelin vienti sisätiloihin läpivientikaapelilla (Mobile Evolution [Viitattu 11.4.2015]).....	26
Kuva 19. Työssä käytetty TW-3G reititin (Telewell [Viitattu 11.4.2015]).....	27
Kuva 20. Liitokset valmiina testausta varten .....	27
Kuva 21. Tukiasema (Talentum 2012). .....	28
Kuva 22. Speedtest.net.....	29
Kuva 23. Työssä testattava ympärisäteilevä antenni. ....	32
Taulukko 1. Suunta-antennin nopeudet .....	30
Taulukko 2. Suunta-antennin keskiarvot .....	31
Taulukko 3. Ympärisäteilevän antennin nopeudet .....	33
Taulukko 4. Ympärisäteilevän keskiarvot.....	34
Taulukko 5. Testinopeudet ilman antennia .....	35
Taulukko 6. Keskiarvot ilman antennia .....	36
Taulukko 7. Lähetys- ja latausnopeudet kuvaajassa.....	38

Taulukko 8. Latenssit kuvaajassa .....	39
--	----

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>3G</b>	3G on langattomien yhteyksien kolmas sukupolvi, jota käytetään pääasiassa matkapuhelimissa. Matkapuhelimen pystyy tekniikan ansiosta yhdistämään internettiin tai muihin verkkoihin, jolloin voidaan soittaa ääni- ja videopuheluita muihin laitteisiin. (Unuth 2015.)
<b>Teleoperaattori</b>	On yhtiö, joka hoitaa tietoliikenteen välitystä yhteyden tilaajien välillä.
<b>Tukiasema</b>	Yhdistää päätelaitteen kuten matkapuhelimen tai tietokoneeseen liitetyn internet-tikun radioteitse kiinteään verkkoon langattomassa liikenteessä.
<b>Ympärisäteilevä antenni</b>	Antenni, joka vahvistaa signaalia tasaisesti kaikista suunnista.
<b>Suunta-antenni</b>	Antenni, joka vahvistaa signaalia siitä suunnasta, minne se osoittaa.
<b>Latenssi</b>	Tietoliikennetekniikassa tarkoitetaan aikaa mikä paketilta kuluu lähettäjältä vastaanottajalle ja takaisin. Latenssi ilmoitetaan yleensä millisekunteina (ms).
<b>Mbps</b>	Tiedonsiirtonopeuden yksikkö. Megabittiä sekunnissa.
<b>Reititin</b>	Reititin on laite, jonka tehtävänä on välittää tietoa tietoverkon eri osien välillä.



# 1 JOHDANTO

Työssä tutkitaan antennien vaikutusta 3G-yhteyksissä. Opinnäytetyössä keskitytään radiotekniikan peruskäsitteisiin sekä antenneihin, joita käytetään signaalien vahvistamiseen esimerkiksi 3G-yhteyksissä. Työssä perehdytään myös siihen, kuinka antennit asennetaan ja millaisiin tilanteisiin tietynlaiset antennit sopivat parhaiten.

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön taustalla oli tavoitteena saada 3G-yhteys toimimaan huomattavasti nopeammin maaseutualueella, minne kiinteää yhteyttä ei ole saatavilla. Signaalia pyritään vahvistamaan käyttäen apuna erilaisia antenneita.

## 1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä radiotekniikan perusteisiin ja asentaa tutkimuksessa käytettävät antennit toimintavalmiuteen maaseudulla sijaitsevaan omakotitaloon, jossa oli käytössä 3G-yhteys. Tavoite antennien suhteen oli saada huomattava parannus 3G-yhteyden toimivuudelle. Antennien toimivuutta testattiin Speedtest.net-nimisellä nopeustestipalvelulla. Testeistä saadut tulokset taulukoitiin ja niistä pääteltiin millaisella antennilla saatiin parhaat mahdolliset tulokset.

## 1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyössä käydään läpi radiotekniikan teoriaa, antennien peruskäsitteitä, antennien asennusosuudet, testaukset ja laskelmat sekä yhteenvedon. Teoriaosuudessa käydään läpi radiotekniikan osa-alueita jotka ovat olennaisia 3G-yhteyksien kannalta. Antennien asennusosuudessa käsitellään kuinka antennit asennetaan ja kuinka ne suunnataan oikein.

## 2 RADIOTEKNIikka

Sanalla radio tarkoitetaan tekniikkaa, jonka avulla tietoa voidaan siirtää avaruudessa, ilmakehässä tai aaltojohdossa etenevien sähkömagneettisten aaltojen tai radioaaltojen avulla. Radiolla tarkoitetaan myös laitetta, jota käytetään vastaanottamaan ja lähettämään radioaalloja. (Räisänen & Lehto 2003, 3.)

Radiotekniikka on radioaaltojen toimintaa, jonka avulla ihmiset pystyvät palvelemaan omia päämääriään. Tällaisia päämääriä palvelevia radiotoimintoja ovat esimerkiksi.

- kiinteä tietoliikenne
- yleisradiotoiminta
- matkaviestintä
- radiopaikallistaminen (esim. tutkat)
- satelliittitietoliikenne
- radioamatööritoiminta
- radioastronomia. (Räisänen & Lehto 2003,11.)

Radiotekniikalla tarkoitetaan myös menetelmiä, joilla tuotetaan, tutkitaan, käsitellään tai hyödynnetään radioaalloja, jotka tekevät mahdollisiksi aiemmin mainitut radiotoiminnot (Räisänen & Lehto 2003,11).

Kaikki sähköiset laitteet ja piirit kuuluvat radiotekniikan piiriin, joissa sähköilmiöiden etenemisnopeus on otettava huomioon tai toisin sanoen joiden mitat ovat aallonpituuden luokkaa (Räisänen & Lehto 2003,11).

### 2.1 Radioaaltojen eteneminen

Radioaaltojen etenemiseen vaikuttavat ionosfääri, troposfääri ja maaston ominaisuudet. Troposfääri on ilmakehässä alin kerros, jossa sääilmiöt tapahtuvat.

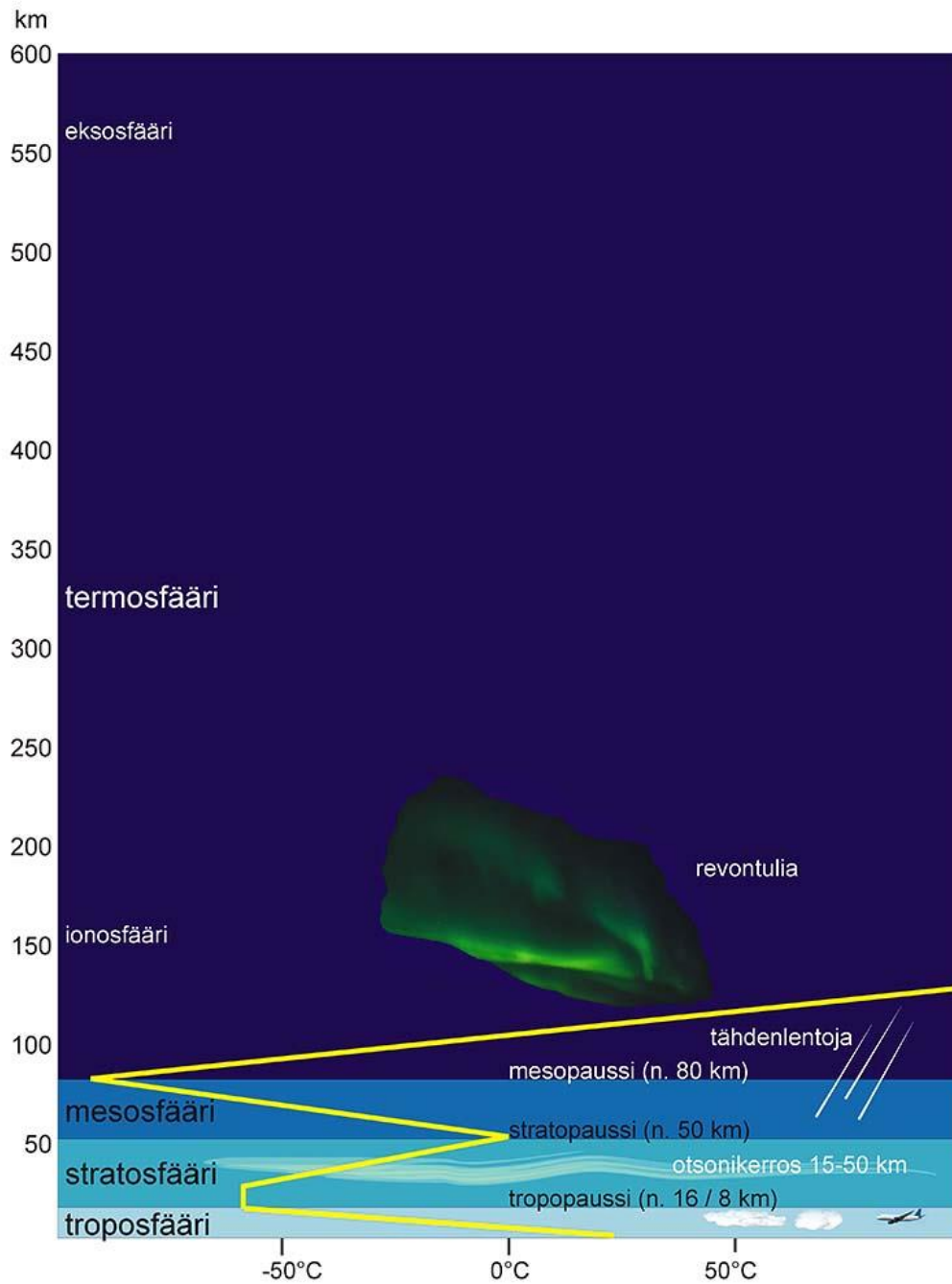
Navoilla Troposfääri ulottuu noin 9 km:n ja päiväntasaajalla noin 17 km:n korkeuteen. Troposfääri on epähomogeeninen ja muuttuu jatkuvasti. Radioaaltojen etenemiseen paikasta toiseen vaikuttavat esimerkiksi lämpötila, paine, kosteus ja sade. Aallon edetessä troposfäärissä se vaimenee, siroaa ja kaartuu sekä voi heijastua. Monitie-etenemisen takia vastaanotetun signaalin amplitudi ja vaihe voivat vaihdella satunnaisesti, signaalin polarisaation saattaa muuttua, ja ilmakehä aiheuttaa kohinaa. (Räisänen & Lehto 2003,189.)

Ilmakehän ylempi kerros ionosfääri ulottuu noin 60 km:stä 1000 km:iin. Ionosfäärissä on elektroneja ja ioneja eli auringon ultravioletti- ja hiukkassäteilyn ionisoimaa plasmaa. Radioaallot heijastuvat ionosfääristä sen tilasta riippuvan rajataajuuden eli n. 10 MHz:n alapuolella. (Räisänen & Lehto 2003,189.)

Maasto ja rakennukset aiheuttavat radioaaltoihin diffraktiota, sirontaa ja heijastuksia. Maanpintaa pitkin etenevien aaltojen vaimennus riippuu maanpinnan sähköisistä ominaisuuksista matalilla taajuuksilla. (Räisänen & Lehto 2003,189.)

Radioyhteyksillä tärkeimmät etenemismekanismit ovat:

- 1) Eteneminen näköyhteysreittiä pitkin, joka muistuttaa lähinnä vapaan tilan etenemistä.
- 2) Eteneminen sironnan avulla ilmakehän epähomogeenisuuksista johtuen.
- 3) Eteneminen ionosfäärin kautta. Ionosfääristä aalto voi heijastua alle 30 MHz:n taajuuksilla. Jos aalto heijastelee useita kertoja maanpinnan ja ionosfäärin välillä, se voi edetä maapallon ympäri.
- 4) Eteneminen maanpinta-aaltona. Taajuuden kasvaessa maanpinta-aallon vaimennus kasvaa nopeasti, joten aallon eteneminen rajoittuu noin alle 10 MHz:n taajuuksille. (Räisänen & Lehto 2003,189.)



Kuva 1. Ilmakehän rakenne (Otavan Opisto 2015).

## 2.2 Radioaaltojen vaimeneminen troposfäärissä

Muutaman GHz:n taajuudesta ylöspäin on ilmakehän absorptioon ja sironnan aiheuttaman vaimennus otettava huomioon. Tämä jaetaan kirkkaan ilmakehän vaimennukseen ja erilaisten partikkelien kuten lumen ja sadepisaroiden aiheuttamaan vaimennukseen. (Räisänen & Lehto 2003, 190.)

Kirkkaan ilmakehän vaimennus lähinnä aiheutuu vesihöyryn ja hapen molekyylien resonansseista. Molekyylien rotaatiotilaa pystyvät muuttamaan resonanssitaajuuksia vastaavat energiakvantit. Molekyyli virittyy tilasta toiseen kvantin absorboituessa. Molekyyli säteilee isotrooppisesti ja mahdollisesti jollakin muulla taajuudella viritystilän purkautuessa, joten kvantin energia menetetään etenevästä aallosta. Vesihöyryn resonanssitaajuuksia ovat 22, 183 ja 325 GHz ja hapen 60 ja 119 GHz. Troposfäärissä hapen määrä on lähes vakio, kun taas vesihöyryn määrässä on huomattavaa vaihtelua. Vaimennuskerroin, joka vesihöyrystä aiheutuu, on suoraan verrannollinen vesihöyryn määrään, joka on suhteellisen kosteuden ja lämpötilan funktio. (Räisänen & Lehto 2003, 191.)

Sateen vaimennus johtuu pääosin sironnasta: sadepisaran molekyylijä polarisoi radioaalto, jolloin pisara säteilee laajaan avaruuskulmaan toimien kuten pieni sähköinen dipoli. Voimakas sade pystyy estämään pitkät yhteydet yli 10 GHz:n taajuuksilla. Kohtuullisella sateella vaimennus on 0,08 dB/km taajuudella 10 GHz ja 3 dB/km taajuudella 100 GHz. Kaatosateella arvot kymmenkertaistuvat, mutta näin voimakkaita sateita on kuitenkin melko harvassa. Pisarat ovat kovalla sateella suuria ja litistyneen pallon muotoisia. Tästä seuraa polarisaation muutos aallossa, jos sähkökenttä ei ole pisaroiden jomman kumman akselin suuntainen. Vaimennuskerroin, joka aiheutuu sumusta ja pilvistä, on likimäärin suoraan verrannollinen vesimäärään. (Räisänen & Lehto 2003, 191.)

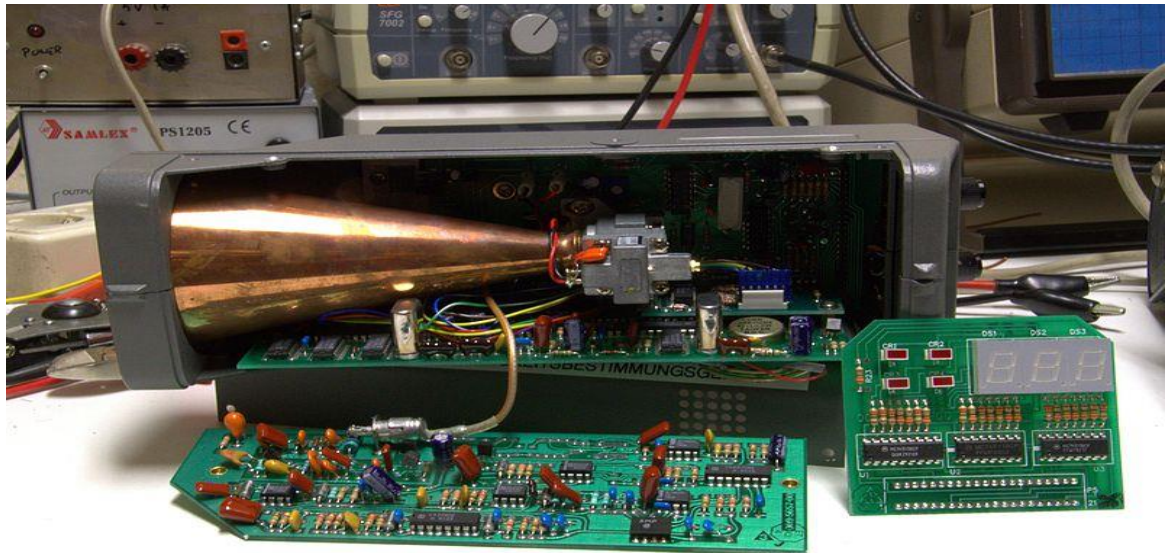
### 3 ANTENNIT

Antenneja käytetään radioaaltojen lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Antenneilla pyritään siirtämään aaltojohdossa etenevä lähetysteho mahdollisimman tehokkaasti vapaaseen tilaan tai päinvastoin, vapaasta tilasta vastaanottimeen aaltojohdon kautta. (Räisänen & Lehto 2003, 158.)



Kuva 2. Perinteinen suunnattava antenni (STK-Tietopalvelut [Viitattu 10.4.2015]).

Radiotekniikan sovellukset käyttävät lähes kaikki antenneja. Antennien vaatimukset kasvavat jatkuvasti sillä radiotaajuuksia käytetään yhä enemmän ja enemmän. Antennien rakenne vaihtelee laajasti esimerkiksi käyttötarkoituksesta ja taajuudesta riippuen. (Räisänen & Lehto 2003, 158.)



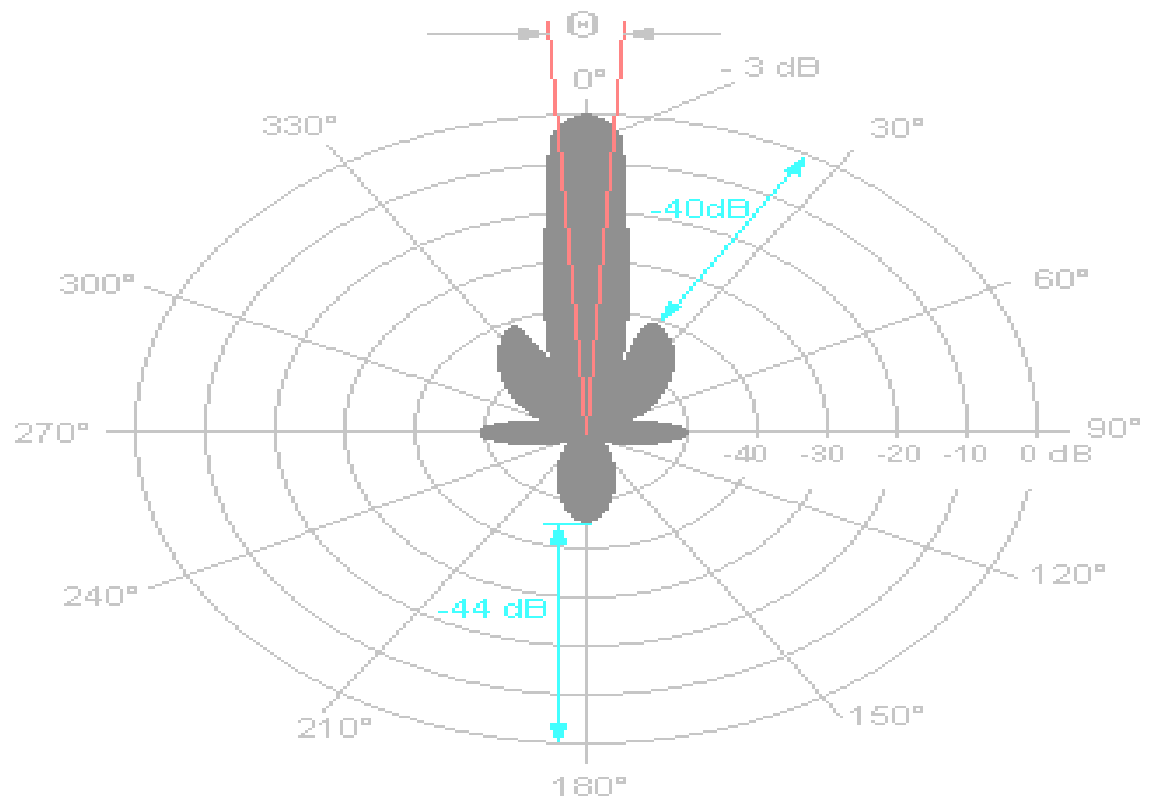
Kuva 3. Torviantenni nopeudenvälvontatutkassa (Flickr 2012).

Antennin ominaisuudet ovat sama lähetyksessä ja vastaanotossa eli ne ovat resiprookkisia. Jos antenni lähettää tehoa tiettyihin suuntiin, se myöskin ottaa tehoa vastaan molemmista suunnista. (Räisänen & Lehto 2003, 159.)

Antennia ympäröivä tila voidaan jakaa sen säteilemän kentän ominaisuuksien perusteella kolmeen osaan. Tarkat rajat ovat keinotekoisia, koska muutokset kentässä tapahtuvat vähitellen. Lähimpänä antennia on reaktiivisen lähikentän alue, jossa säteilevä osa on pienempi kuin kentän reaktiivinen osa. Reaktiivinen osa ei säteile, mutta on säteilymekanismissa olennaista. Reaktiivinen osa pienenee etäisyyden kasvaessa nopeasti ja tulee merkityksettömäksi säteilevän lähikentän eli Fresnelin alueella. Uloin alue on kaukokentän ali Fraunhoferin alue. Tällä alueella säteilyominaisuudet eivät juuri riipu etäisyydestä, ja kenttä pienenee kääntäen verrannollisesti etäisyyteen. (Räisänen & Lehto 2003, 158.)

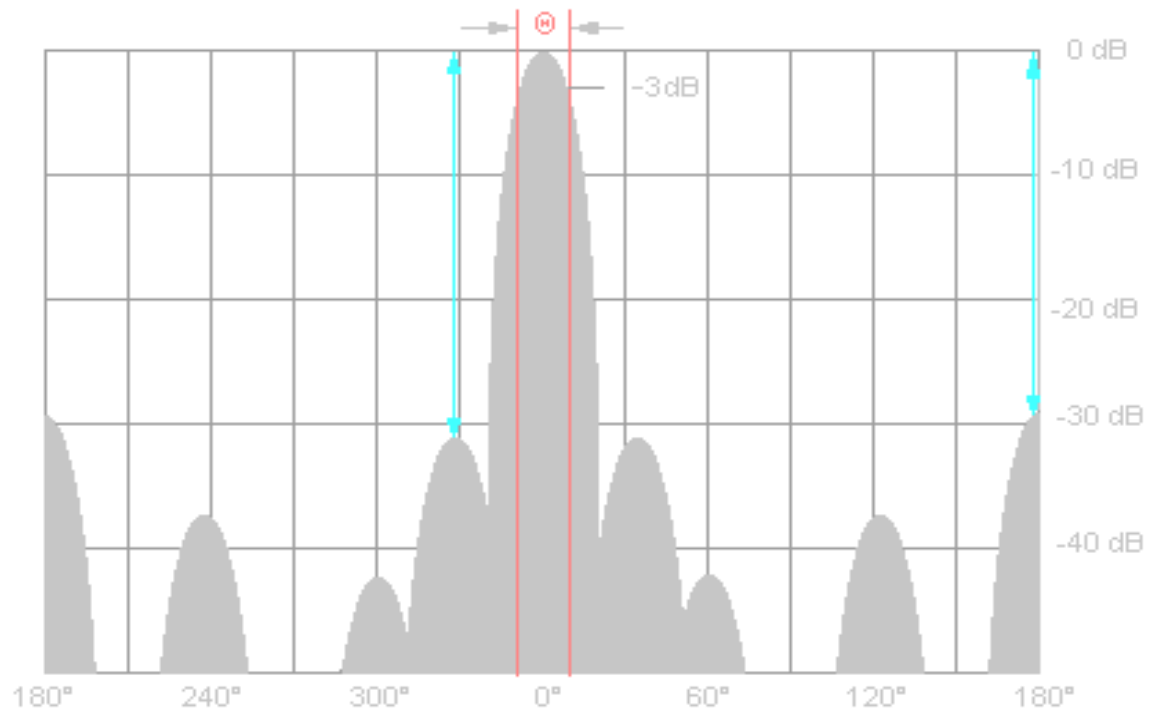
Antennin suorituskykyä kuvataan tavallisesti säteilykuviolla ja vahvistuksella eli sen säteilyominaisuuksilla. Eri ominaisuuksien tärkeysjärjestys riippuu sovelluksesta. Antennille usein tärkeitä ovat sen piiriominaisuudet, kuten impedanssi, hyötysuhde ja kaistanleveys. Joskus kriittisiä ominaisuuksia ovat antennin mekaaniset ominaisuudet, kuten koko ja paino. (Räisänen & Lehto 2003, 158.)

Antenni ei säteile samalla tavalla kaikkiin suuntiin eli isotrooppisesti. Sama pätee myös vastaanotossa Resiprookkisuuden perusteella. Monet antennit säteilevät vain johonkin tiettyyn suuntaan voimakkaasti. Tällöin suuntakuviossa on selvä pääkeila ja sivukeila. Suuntakuviokuva kuvaa antennin säteilemää tehotiheyden tai kentän voimakkuuden kulmariippuvuutta. Pääkeilan suunta, puolen tehon keilanleveys, sivukeilojen ja nollakohtien tasot ja sijainnit voidaan selvittää suuntakuvioista. Suuntakuviolla on monia esitysmuotoja. (Räisänen & Lehto 2003, 158.)



Kuva 4. Suuntakuvion polaarinen esitysmuoto. (Wolff. [Viitattu 13.4.2015]).



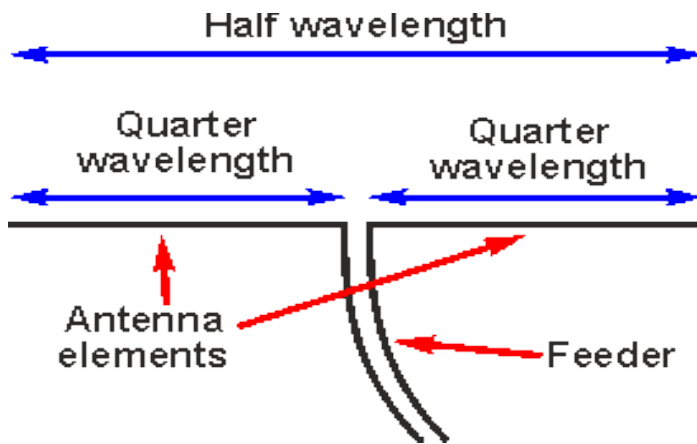


Kuva 5. Suuntakuvion suorakulmainen esitysmuoto. (Wolff. [Viitattu 13.4.2015]).

### 3.1 Antennien vahvistus

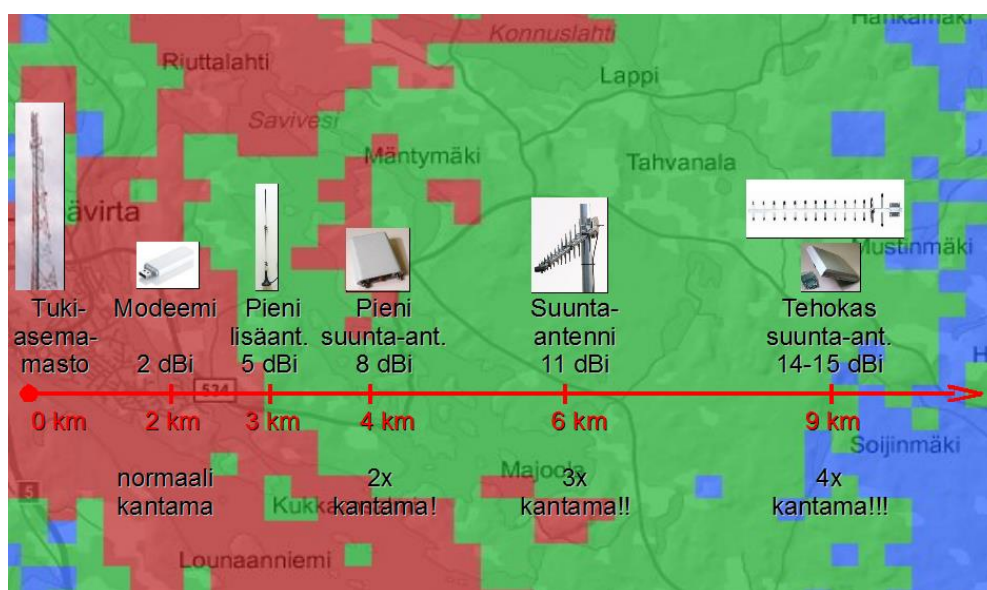
Antennista vahvistus ilmoitetaan desibeleinä (dB). Antennien vahvistuksia tarkkailtaessa puhutaan usein yksiköstä dBi, jossa dB:llä tarkoitetaan desibeliä ja pieni i-kirjain kertoo vertailukohtaan, eli vahvistuksen kertoimen verrattuna isotrooppiseen antenniin. Isotrooppisella antennilla tarkoitetaan kuvitteellista antenna, joka säteilee kaikkiin suuntiin yhtä voimakkaasti. (Siptune 2010.)

Yksi yleisimmistä antenneista on dipoliantenni. Dipoliantennia käytetään sellaisenaan paljon, mutta sitä myös sovelletaan laajasti muihin antenneihin. Luultavasti yleisin dipoliantennin muoto on puoliaaltodipoli. Puoliaaltodipolissa dipoliantennin pituus on puolen radioaallon pituinen. Kun antennin vahvistus ilmoitetaan muodossa dBd, tarkoitetaan silloin antennin vahvistuksen kerrointa kun vertailukohteenä on dipoliantenni. (Ian Poole [Viitattu 29.4.2015].)



Kuva 6. Puoliaaltodipoli (Poole. [Viitattu 29.4.2015]).

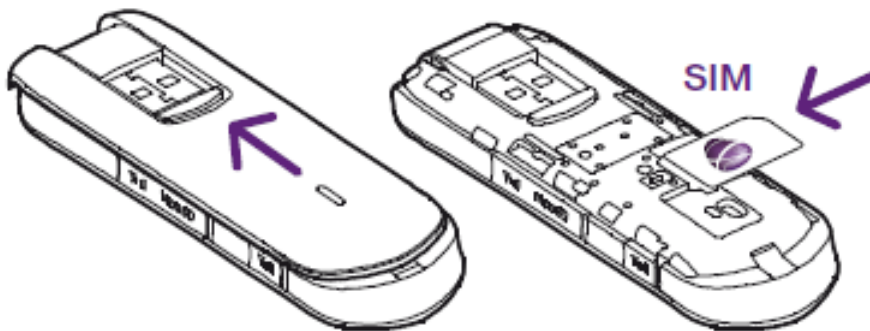
Mitä sitten käytännössä tarkoittaa jos antennin vahvistus on esimerkiksi 12 dBi? On olemassa nyrkkisääntö, jonka mukaan radioaaltojen siirtymisessä kuusi desibeliä vastaa matkan kaksinkertaistumista. 12 dBi:n antenni siis kaksinkertaistaa ja taas kaksinkertaistaa matkan. Jos tätä verrataan vahvistamattomaan anteeniin, saavutettaisiin sama langattoman verkon kuuluvuus nelinkertaisen matkan päästä. Kuvassa 9 kilometrit ovat matkoja keskimääräisesti 2100 MHz:n taajuudella. 900 MHz:n taajuudella olisivat matkat noin kaksinkertaisia. (Siptune 2010.)



Kuva 7. Antennin vaikutus kuuluvuuteen (Siptune 2010).

## 4 3G-YHTEYS

3G-yhteydellä tarkoitetaan kolmannen sukupolven teknologiaa, matkapuhelimille (Unuth 2015). Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että teknologiaa käyttävät vain matkapuhelimet. 3G-yhteyden avulla saadaan myös tietokoneet ja tabletit internetiin asettamalla laitteeseen SIM-kortti. Tietokoneisiin SIM-kortti saadaan liitettyä USB-väylän kautta internet-tikkua käyttäen.



Kuva 8. Internet-tikku (Telia Sonera 2013).

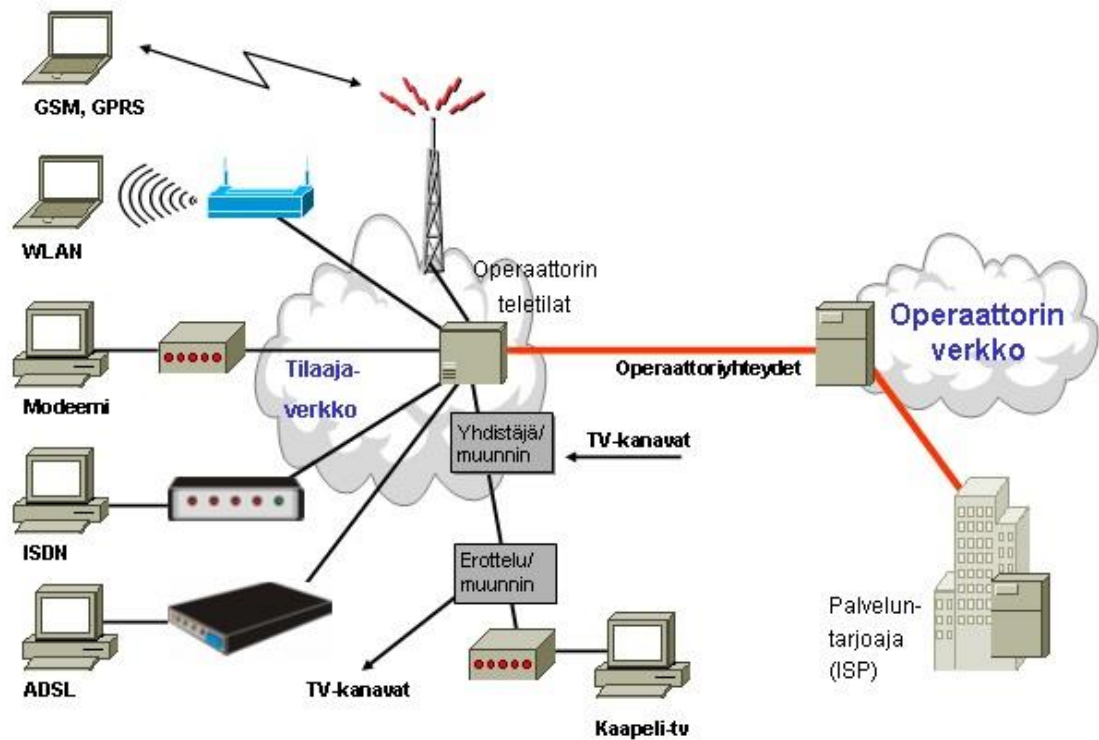
Yleisesti tunnetun 3G-määritelmän on luonut ITU-T. ITU-lyhenne tarkoittaa kansainvälistä televiestintäliittoa (International Telecommunication Union), ja iso T tarkoittaa ITU:n organisaatiossa televiestintäsektoria. ITU-T:n määritelmän mukaan tulee 3G-matkapuhelinjärjestelmän tukea:

- 1) suuria bittinopeuksia
- 2) sallia liikkuvuus operaattoreiden verkkojen ja eri maiden välillä, sekä käyttö- ja laskutustietojen vaihtaminen operaattoreiden välillä tulee olla mahdollista.
- 3) maantieteellisen sijainnin määrittelyä päätelaitteissa ja tukea multimediapalveluita. (Gabor & Ames 2000. 4-5.)

### 4.1 Toimintaperiaate

Mobiililaajakaistan toimintaperiaatteena on se, että teleoperaattorin tukiasemalta säteilee signaalia tietyillä taajuuksilla, jonka päätelaite, jossa on SIM-kortti kuten

tabletti, matkapuhelin tai internet-tikku tietokoneessa pystyy havaitsemaan. Pääte-laite pystytään yhdistämään langattomasti tukiasemaan ja sieltä sitten teleoperaattorin kiinteään verkkoon. (IZMF 2012.)



Kuva 9. Verkon rakenne (Tallinn University [Viitattu 13.4.2015]).

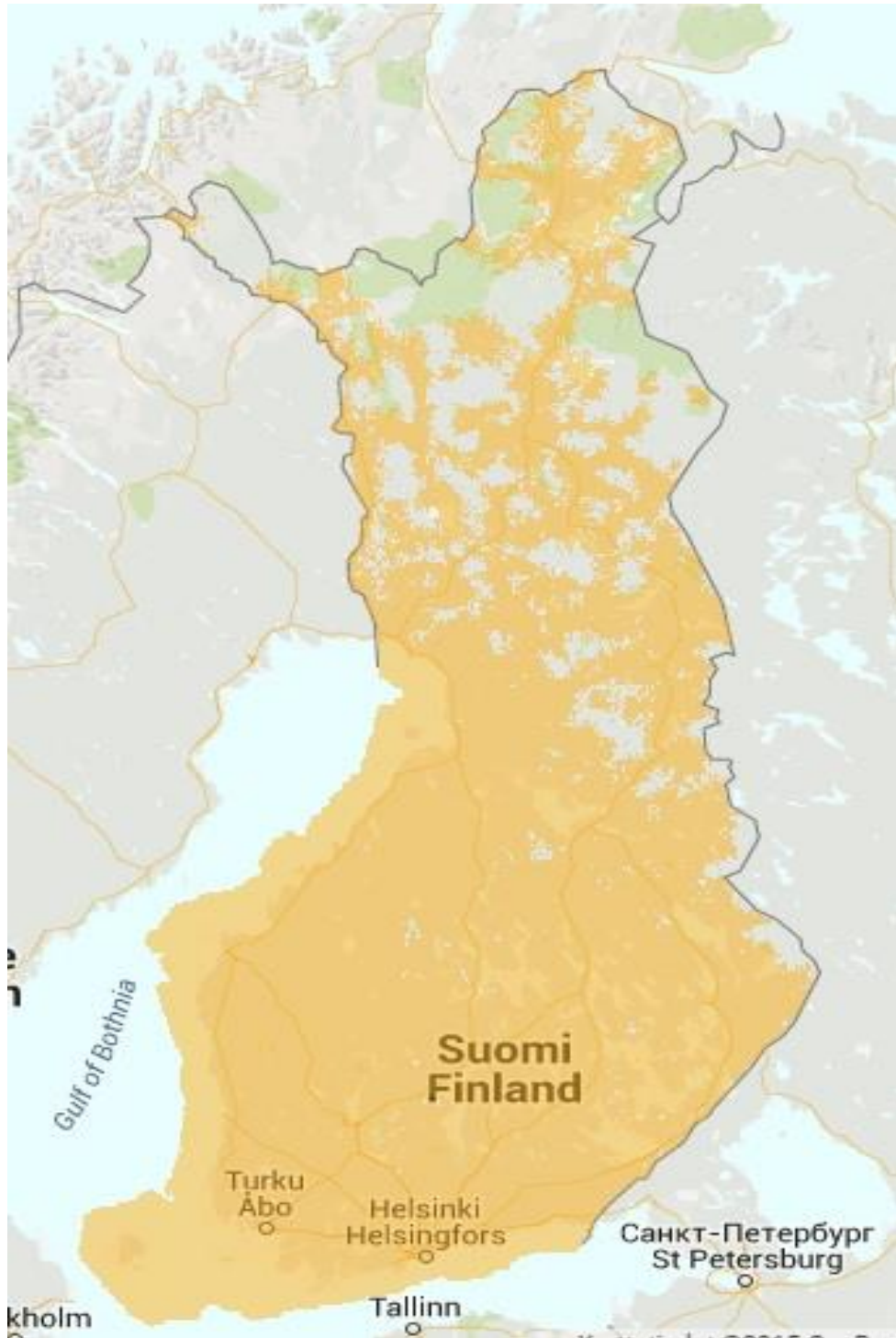
## 5 RADIOTAAJUUDET

Radiotaajuudet etenevät valon nopeudella ja ovat luonnonvara, joka ei vähene tai kulu käytössä. Radiotaajuuksilla on tiettyjä ominaisuuksia, jotka asettavat rajoituksia niiden hyödyntämiselle. Radiolaitteiden valmistaminen tulee kalliimmaksi ja vaikeammaksi mitä korkeammalle taajuudelle siirrytään. (Viestintävirasto 2013.)

Korkeiden taajuuksien käyttöä vaikeuttavat radioaaltojen etenemisominaisuudet. Suurin piirtein 95 prosenttia Suomessa olevista luvanvaraisista radiolaitteista toimii alle 10 GHz:n taajuuksilla, ja alle 25 GHz:n taajuuksilla toimii 99 prosenttia. Arviolta yli 99 prosenttia kaikista radiolaitteista toimii alle 10 GHz:n taajuuksilla, kun luvasta vapautetut radiolähettimet otetaan huomioon. (Viestintävirasto 2013.)

### 5.1 3G-taajuudet Suomessa

3G-verkot muodostuvat Suomessa toimiluvan saaneiden teleoperaattoreiden ylläpitämistä kolmannen sukupolven UMTS-verkoista. Lyhenne UMTS tulee sanoista Universal Mobile Telecommunications System ja se on suunniteltu GSM:n seuraajaksi. UMTS-verkot käyttävät Suomessa 900 MHz:n ja 2100 MHz:n taajuuksia. (Mokkula.info 2010.)



Kuva 10. Elisan kuuluuuskartta 3G:lle (Elisa 2015).

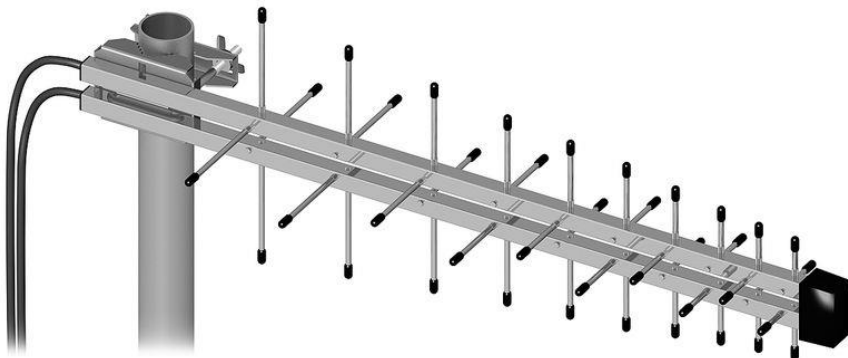
## 6 ANTENNIEN TESTAUS

Testauksessa oli käytössä Elisa Saunalahden 3G-yhteys, jonka nopeuksia pyrittiin parantamaan kahdella erilaisella antennilla. Ensimmäiseksi testattiin suunta-antennia, joka pitää suunnata osoittamaan operaattorin lähintä tukiasemaa kohti. Toisena testattiin perinteistä ympärisäteilevää antennia, minkä yleensä saa internet-tikun oston mukana.



Kuva 11. Ympärisäteilevä antenni (Deware 2014).

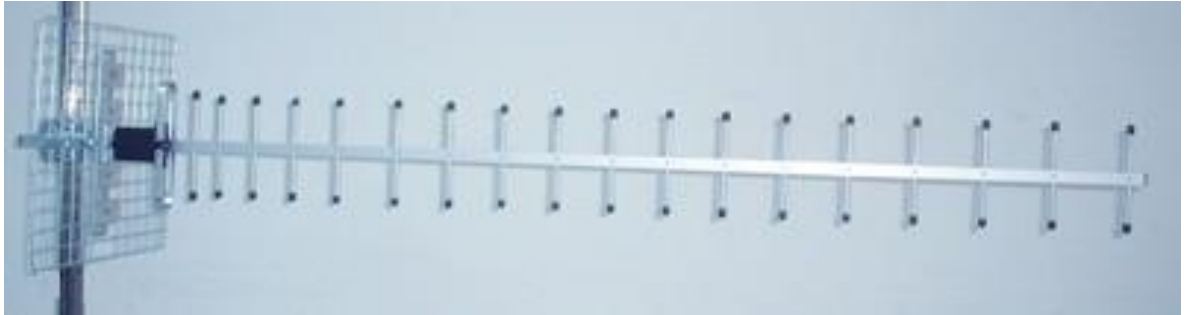
Testauksessa käytettiin perinteistä speedtest-nopeustestiä. Molemmilla antenneilla sekä ilman antennia suoritettiin kymmenen perättäistä testiä, joista tulokset kuten latausnopeus, lähetysnopeus ja latenssi kirjattiin ylös ja laskettiin kaikkien keskiarvot. Lopulta myös verrattiin tuloksia toisiinsa.



Kuva 12. Suunta-antenni (Radio-Tv Huvila 2015).

## 6.1 Suunta-antennin asentaminen

Mobiililaajakaista-antennin ulkoasennus on helppo tehtävä eikä vaadi erityisosaamista tai erikoistyökaluja. Suunta-antenniksi on valittu Yagi-36 professional. Tässä antennissa valmistajan ilmoittama vahvistus on 28 dBi.



Kuva 13. Yagi-36 professional (Mobile Evolution. [Viitattu 10.4.2015]).

### 6.1.1 Alkukartoitus ja antennin sijoitus

Aivan ensimmäiseksi pitää tutkia oman operaattorin kuuluvuuskartan avulla lähialueen kuuluvuus, jonka jälkeen valitaan antennin paikka siten, että lähinäkömä karkeasti arvioituun kuuluvuusalueen suuntaan on mahdollisimman esteetön. Antennin paikkaa valittaessa on kuitenkin otettava huomioon, että antennin kaapeli yltää tietokoneen/3G-reitittimen luokse. Kaapelia pystyy tarvittaessa jatkamaan, mutta se aiheuttaa häviötä, joka syö antennilla saavutettua hyötyä. (Mobile Evolution 2009.)

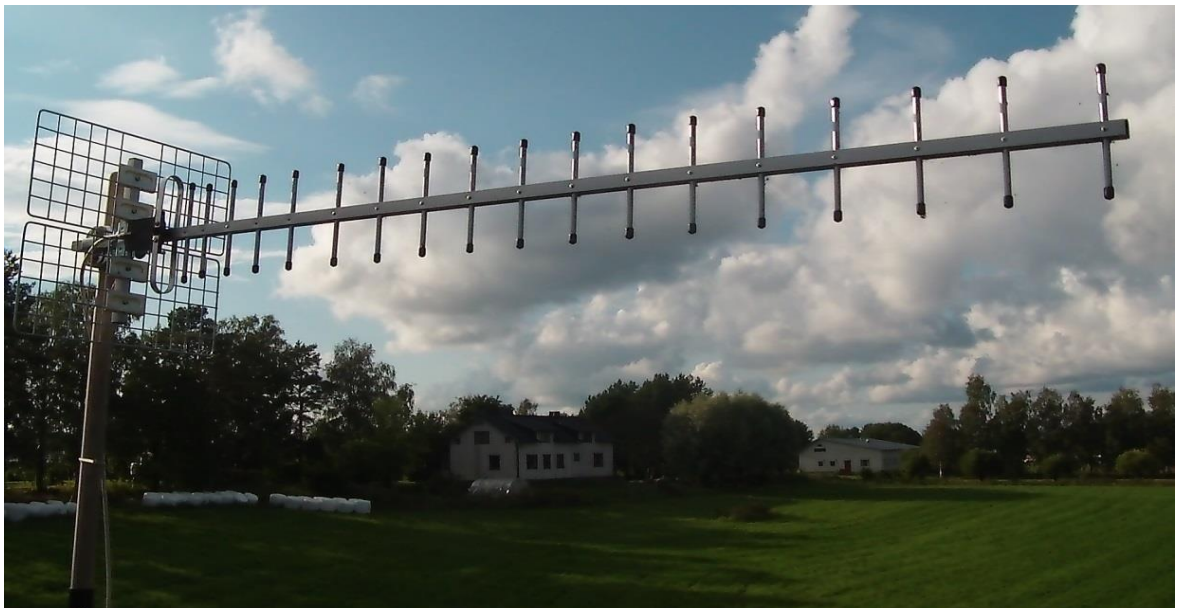
### 6.1.2 Antennin asennus ja suuntaaminen

Antenni asennetaan talon katolle mahdollisimman korkealle, koska talon ja tukiaseman välillä on paljon esteitä, kuten kasvillisuutta ja rakennuksia, jotka aiheuttavat signaalille sirontaa. Antennin suuntaus vastaa tehokkaan televisioantennin suuntausta. Antennin tulee osoittaa kohti tukiasemaa muutaman asteen tarkkuudella. Antenni asennetaan niin, että sen elementit ovat pystysuunnassa eli televisioantenniin verrattuna kyljelleen. Jos elementit ovat vaakasuunnassa signaali heikentyy huomattavasti.





Kuva 14. Televisioantennin elementit vaaka-asennossa. (STK-Tietopalvelut [Viitattu 10.4.2015]).



Kuva 15. 3G-antennin elementit pystysuunnassa

Antennikaapelin asennuksessa tulee huomioida asennusreitti ja kuinka kaapeli viedään seinän sisäpuolelle. Jos valmista läpivientiä ei ole, yleisin tapa on porata kaapelille reikä ikkunan karmipuuhun. Poraamiselta voidaan välttyä, jos käytetään ikkunan tai oven väliin tarkoitettua läpivientikaapelia. Kaapelia vedettäessä on myös huomioitava, että kaapeli ei saa tehdä liian jyrkkiä käännöksiä eikä saa jäädä puristuksiin niin, että kaapeliin jää painaumia. Jos kaapeli on taitettu liian

yrkästi tai on liian kovassa puristuksessa esimerkiksi TC-kiinniikkeen alla, kaapelin impedanssi muuttuu ja vaikuttaa heikentävästi antennin toimivuuteen. (Mobile Evolution 2009.)

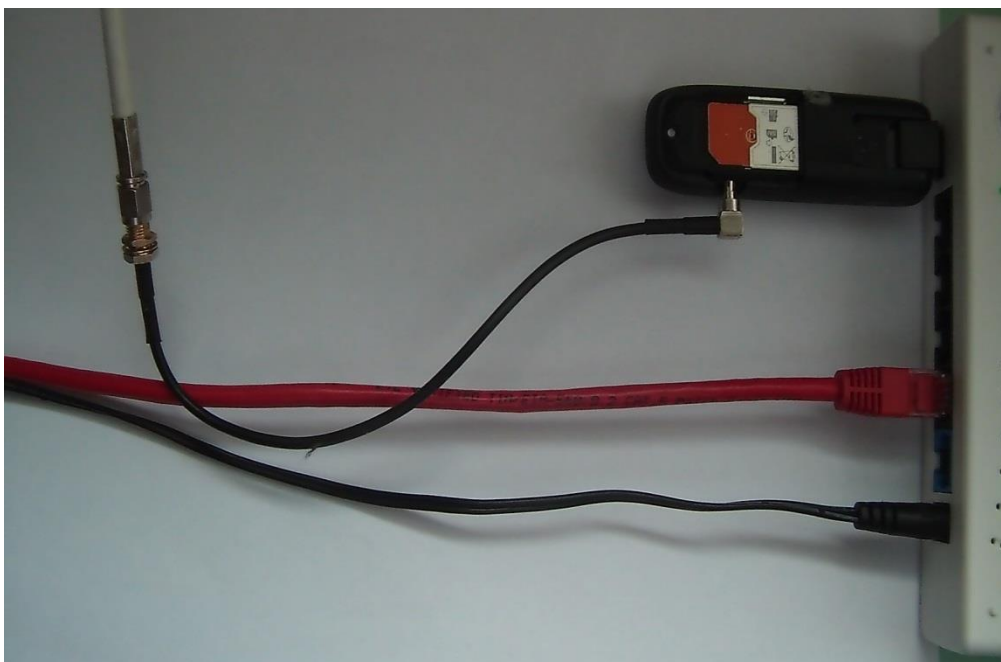


Kuva 16. Antennikaapelin vienti sisätiloihin läpivientikaapelilla (Mobile Evolution [Viitattu 11.4.2015]).

Antennin kiinnityksen ja kaapelin vedon jälkeen voidaan antennikaapeli kiinnittää Internet-tikkuun, joka on kiinnitetty 3G-reitittimeen. Reitittimen avulla yhteys voidaan jakaa talon muihin päätelaitteisiin kuten puhelimiin ja tabletteihin.



Kuva 17. Työssä käytetty TW-3G reititin (Telewell [Viitattu 11.4.2015]).



Kuva 18. Liitokset valmiina testausta varten

Ennen varsinaista testausta, tehdään vielä viimeiset hienosäädöt. Kotikonstein helppo tapa hienosäätää antennin suuntaa on hyödyntää internetin nopeustestipalveluita. Nopeustestipalveluista täytyy muistaa se, että testit ovat lähinnä suuntaa-antavia eivätkä täysin totuudenmukaisia. Nopeustesti kannattaa toistaa monta kertaa, jolloin päästään suhteellisen luotettaviin tuloksiin. Antennin suuntausta voidaan siis parantaa muuttamalla sen suuntaa hieman ja toistamalla nopeustestejä. Suuntaus on millimetripuuhaa ja vaatii kärsivällisyyttä, sillä pienikin antennin kääntö tekee paljon kilometrien päässä sijaitsevan tukiaseman luona. Hyväksi todettu suunta kannattaa merkitä vaikkapa tussilla antennikiinnikkeeseen ja kiinnityspotkeen niin että sen löytää tarvittaessa uudestaan. Kun lopullinen hyväksi todettu suunta on löytynyt, kiristetään antenni tiukasti paikoilleen varoen samalla ettei sen suunta muutu. (Mobile Evolution 2009.)



Kuva 19. Tukiasema (Talentum 2012).

### 6.1.3 Suunta-antennin testaus

Antennia testataan Speedtest.net–nimisellä nopeustestipalvelulla. Testissä otetaan huomioon latausnopeus, lähetysnopeus ja latenssi. Lataus- ja lähetysnopeudessa suurempi tulos on parempi ja latenssissa pienempi tulos on parempi. 10 testiä suoritetaan peräkkäin, jotta saataisiin mahdollisimman luotettava tulos.



Kuva 20. Speedtest.net

Taulukko 1. Suunta-antennin nopeudet

latenssi	latausnopeus	lähetysnopeus
(ms)	(Mbps)	(Mbps)
55	9,73	1,15
46	12,02	1,33
64	12,24	1,83
50	12,02	2,33
49	13,00	1,71
48	12,78	1,96
52	13,51	1,70
50	7,81	1,10
44	9,33	1,14
64	11,05	1,56

Saatujen tuloksien keskiarvot näkyvät Taulukosta 2.

Taulukko 2. Suunta-antennin keskiarvot

	latenssi	latausnopeus	lähetysnopeus
	(ms)	(Mbps)	(Mbps)
<b>Keskiarvo</b>	52,2	11,35	1,58

#### 6.1.4 Ympärisäteilevän antennin asentaminen

Ympärisäteilevän antennin asennus on huomattavasti helpompaa kuin suunta-antennin asennus, sillä sitä ei tarvitse juurikaan suunnata oikeaan suuntaan. Antenni on hyvä kun vastaanotetaan lähetyksiä monesta suunnasta, mutta jos suunta tiedetään jo ennalta, on suunta-antenni yleensä parempi vaihtoehto. Ympärisäteilevä antenni voi olla hyvä kaupunkialueilla, jossa yleensä suoraa näköyhteyttä tukiasemaan ei ole.

Tässä työssä käytetty ympärisäteilevä antenni on perinteinen internet-tikun mukana tullut antenni, jonka vahvistus on 3dBi:n luokkaa. Antenni kiinnitetään internet-tikkuun sille tarkoitettuun ulkoisen antennin liittimeen ja suoritetaan testi Speedtest–nopeustestipalvelulla samalla tavalla kuin aiemmin suunta-antennin kanssa.



Kuva 21. Työssä testattava ympärisäteilevä antenni.

### **6.1.5 Alkukartoitus ja antennin sijoitus**

Ympärisäteilevää antennia asentaessa ei alkukartoituksella ole juurikaan merkitystä, sillä sen suuntakuvio ulottuu tasaisesti jokaiseen ilmansuuntaan ympyrän muotoisesti. Tässä tapauksessa antenni jää sisätiloihin, joten paras paikka antennille tulee olemaan mahdollisimman lähellä ikkunaa.

### **6.1.6 Ympärisäteilevän antennin testaus**

Antennia testataan Speedtest.net–nimisellä nopeustestipalvelulla. Testissä otetaan huomioon jälleen latausnopeus, lähetysnopeus ja latenssi. Lataus- ja lähetysnopeudessa suurempi tulos on parempi ja latenssissa pienempi tulos on parempi. 10 testiä suoritetaan peräkkäin, jotta saataisiin mahdollisimman luotettava tulos.



Taulukko 3. Ympärisäteilevän antennin nopeudet

latenssi	latausnopeus	lähetysnopeus
(ms)	(Mbps)	(Mbps)
56	8,93	1,15
46	8,82	1,15
49	8,94	1,20
44	8,33	1,18
52	8,20	1,19
54	7,36	1,18
46	7,98	1,18
49	7,29	1,80
49	6,87	1,19
44	6,93	1,36

Saatujen tuloksien keskiarvot näkyvät taulukosta 4.

Taulukko 4. Ympärisäteilevän keskiarvot

	latenssi	latausnopeus	lähetysnopeus
	(ms)	(Mbps)	(Mbps)
<b>Keskiarvo</b>	48,9	7,97	1,26

## 7 SAATUJEN TULOKSIEN VERTAILUA

Kun tulokset on saatu kerättyä aiemmin tehdyistä testeistä, voidaan tuloksia alkaa vertailla toisiinsa. Ennen lopullista vertailua suoritetaan vielä viimeinen testi ilman mitään ulkoista antennia, että saadaan vielä yksi vertailukohde lisää.

Taulukko 5. Testinopeudet ilman antennia

<b>latenssi</b>	<b>latausnopeus</b>	<b>lähetysnopeus</b>
<b>(ms)</b>	<b>(Mbps)</b>	<b>(Mbps)</b>
87	4,81	1,13
64	5,24	1,15
54	5,21	1,20
50	5,34	0,97
49	6,00	1,19
48	5,40	1,11
48	6,64	1,18
55	7,04	1,14
47	6,10	1,18
52	5,75	1,21

Saatujen tuloksien keskiarvot nähdään taulukosta 6.

Taulukko 6. Keskiarvot ilman antennia

	latenssi	latausnopeus	lähetyksenopeus
	(ms)	(Mbps)	(Mbps)
<b>Keskiarvo</b>	55,4	5,75	1,15

### 7.1 Suunta-antenni verrattuna ympärisäteilevään antenniin

Seuraavaksi vertaillaan suunta-antennin ja ympärisäteilevän antennin aiemmin saatuja tuloksia toisiinsa ja lasketaan niiden vertailuprosentit.

Latausnopeuden vertailuprosentti saadaan laskettua, kun suunta-antennin keskiarvo on 11,35 Mbit/s ja ympärisäteilevän keskiarvo on 7,97 Mbit/s:

$$\frac{11,35 \text{ Mb/s} - 7,97 \text{ Mb/s}}{7,97 \text{ Mb/s}} \cdot 100\% \approx 42,4 \%$$

Lähetyksenopeuden vertailuprosentti saadaan laskettua, kun suunta-antennin keskiarvo on 1,58 Mbit/s ja ympärisäteilevän keskiarvo on 1,26 Mbit/s:

$$\frac{1,58 \text{ Mb/s} - 1,26 \text{ Mb/s}}{1,26 \text{ Mb/s}} \cdot 100\% \approx 25,4 \%$$

Latenssin vertailuprosentti saadaan laskettua, kun suunta-antennin keskiarvo on 52,2 ms ja ympärisäteilevän keskiarvo on 48,9 ms

$$\frac{52,2 \text{ ms} - 48,9 \text{ ms}}{48,9 \text{ ms}} \cdot 100\% \approx 6,7 \%$$

Tuloksista nähdään, että suunta-antenni päihittää ympärisäteilevän antennin tässä tapauksessa selkeästi. Latausnopeus suunta-antennilla on noin 42 % nopeampi kuin ympärisäteilevällä ja lähetysnopeus noin 25 % nopeampi. Latenssista tulee muistaa se, että suurempi arvo tarkoittaa huonompaa eli ainoastaan vasteajan vertailussa suunta-antenni oli vastustajaansa heikompi noin 7 %:lla.

## 7.2 Antenneilla saadut parannukset

Vaikka toinen antenneista olikin huomattavasti parempi tässä tapauksessa saatiin molemmilla antenneilla kuitenkin parannusta yhteyteen. Seuraavaksi vertaillaan antenneilla saatuja tuloksia tuloksiin, jotka saatiin kun mitään antennia ei ollut käytössä.

Suunta-antennilla saatu parannus latausnopeuteen:

$$\frac{11,35 \text{ Mb/s} - 5,75 \text{ Mb/s}}{5,75 \text{ Mb/s}} \cdot 100\% \approx 97,4 \%$$

lähetysnopeuteen:

$$\frac{1,58 \text{ Mb/s} - 1,15 \text{ Mb/s}}{1,15 \text{ Mb/s}} \cdot 100\% \approx 37,4 \%$$

latenssiin:

$$\frac{52,2 \text{ ms} - 55,4 \text{ ms}}{55,4 \text{ ms}} \cdot 100\% \approx -5,8 \%$$

Suunta-antennilla saatiin kokonaisuudessaan parannusta kaikkiin arvoihin. Latausnopeus melkein kaksinkertaistui, lähetysnopeus nopeutui noin 37 %:lla ja vasteaika parani myös eli laski noin 6 %:lla.

Ympärisäteilevällä antennilla saatu parannus latausnopeuteen:

$$\frac{7,97 \text{ Mb/s} - 5,75 \text{ Mb/s}}{5,75 \text{ Mb/s}} \cdot 100\% \approx 38,6 \%$$

lähetysnopeuteen:

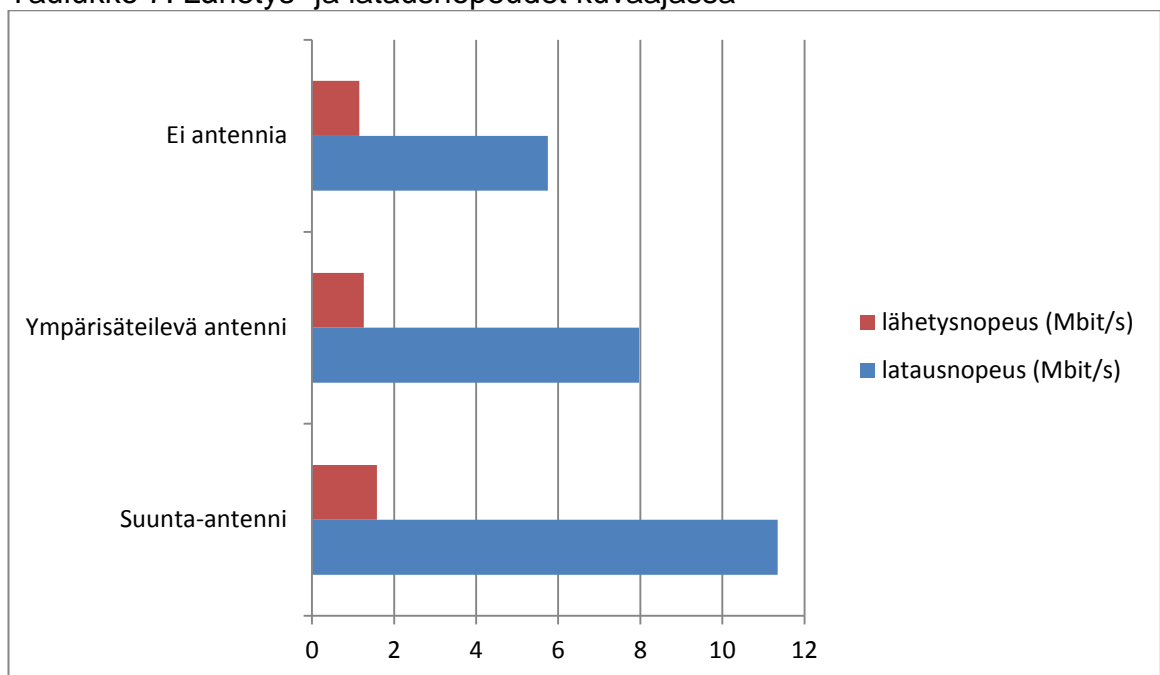
$$\frac{1,26 \text{ Mb/s} - 1,15 \text{ Mb/s}}{1,15 \text{ Mb/s}} \cdot 100\% \approx 9,6 \%$$

latenssiin:

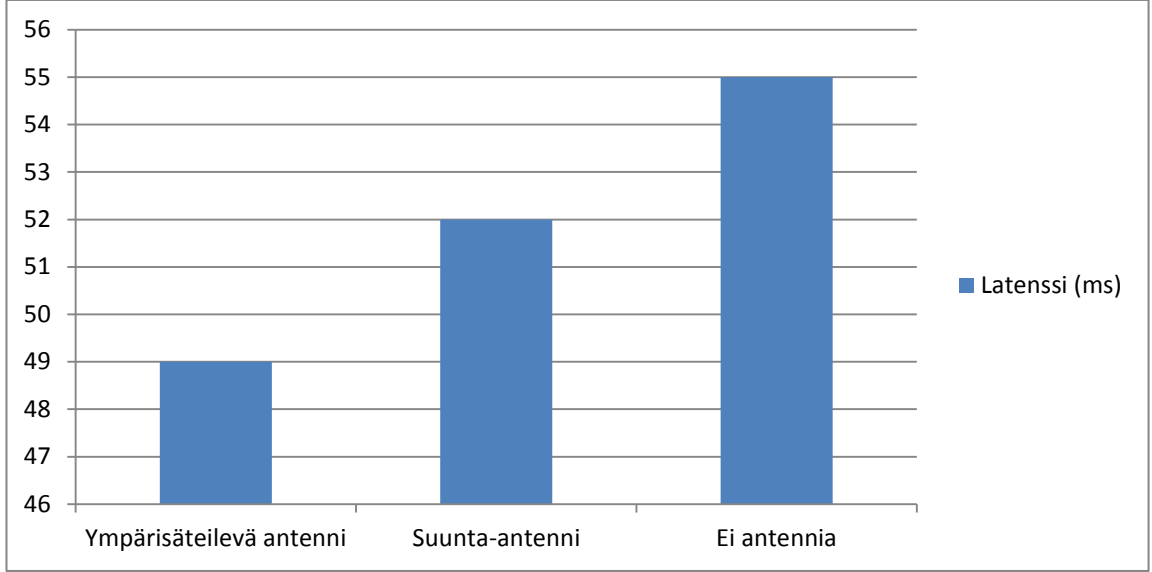
$$\frac{48,9 \text{ ms} - 55,4 \text{ ms}}{55,4 \text{ ms}} \cdot 100\% \approx -11,7 \%$$

Ympärisäteilevällä-antennilla saatiin jonkin verran parannusta kaikkiin arvoihin. Latausnopeus nousi noin 39 %:lla, lähetyksenopeus noin 10 %:lla ja latenssi laski eli parantui noin 12 %:lla.

Taulukko 7. Lähetyksen- ja latausnopeudet kuvaajassa



Taulukko 8. Latenssit kuvaajassa



## 8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin radiotekniikan peruskäsitteitä, antennien ja 3G-yhteyksien toimintaperiaatteita. Työssä kerrottiin pääpiirteittäin, mitä radiotekniikka on ja kuinka radioaaltojen etenemiseen vaikuttavat maaston muodot ja ilmakehän eri osat. Nämä seikat aiheuttavat radiosignaaliin sirontaa ja heijastuksia, jotka heikentävät signaalin vahvuutta.

Radiosignaalin vahvuutta pyritään vahvistamaan erilaisilla antennilla. Antenneja on eri tyyppisiä, jotka soveltuvat tietynlaisiin tilanteisiin toisia antenneita paremmin. Tässä työssä keskityttiin lähinnä suunta- ja ympärisäteilevän antennin toimivuuteen.

Työssä asennettiin omakotitaloon suunnattava- ja ympärisäteilevä antenni. Asennusvaiheessa käytiin läpi seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon etenkin suunta-antennia asentaessa.

Asennuksen jälkeen suoritettiin sarja nopeustestejä. Testissä otettiin huomioon latausnopeus, lähetysnopeus ja latenssi. Tulokset taulukoitiin ja laskettiin niiden keskiarvot. Testien tuloksia verrattiin toisiinsa. Tulosten pohjalta todettiin, että suunta-antennilla saavutettiin paremmat nopeudet 3G-yhteydelle.



## LÄHTEET

- Deware. 2014. Huawei 5dBi ympärisäteilevä antenni. [Verkkosivu]. Deware Oy. [Viitattu 14.4.2015]. Saatavana: <http://www.nettikama.fi/huawei-5dbi-ymparisateileva-antenni.html>
- Elisa. 2015. Kuuluvuuskartta. [Verkkosivu]. Elisa Oyj. [Viitattu 29.4.2015]. Saatavana: <http://elisa.fi/kuuluvuus/>
- Flickr. 2012. Radar Gun Electronics: Detail Shot. [Verkkosivu]. Yahoo! Inc. [Viitattu 10.4.2015]. Saatavana: <https://www.flickr.com/photos/dvanzuijlekom/6650053867/>
- Gabor, J. & Ames, P. 2000. The Evolution of Third-Generation Cellular Standards. [www-dokumentti]. Intel Corporation. Saatavana: [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDwQFjAE&url=ftp%3A%2F%2Fftp.3gpp2.org%2Ftsgs%2Fworking%2F\\_2000%2FTSG-S\\_2000-06%2FWG1%2FJ.Gabor%25203G%2520Article.doc&ei=CT01VbzmGsnNygPYooDwCQ&usq=AFQjCNGCnyL7fW5FNjxwU-FBmzfv8QoYw&sig2=M2H7drwgU6yTedn\\_6V3nOA&bvm=bv.91071109,d.bGQ&cad=rja](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDwQFjAE&url=ftp%3A%2F%2Fftp.3gpp2.org%2Ftsgs%2Fworking%2F_2000%2FTSG-S_2000-06%2FWG1%2FJ.Gabor%25203G%2520Article.doc&ei=CT01VbzmGsnNygPYooDwCQ&usq=AFQjCNGCnyL7fW5FNjxwU-FBmzfv8QoYw&sig2=M2H7drwgU6yTedn_6V3nOA&bvm=bv.91071109,d.bGQ&cad=rja)
- IZMF. 2012. How do mobile phone base stations work? [Verkkosivu]. Informationszentrum Mobilefunk e.V. Saatavana: <http://www.izmf.de/en/content/how-do-mobile-phone-base-stations-work>
- Mobile Evolution. 2009. Kuinka suunta-antenni suunnataan kotikonstein?. [Verkkosivu]. Mobile Evolution Oy. [Viitattu 13.4.2015]. Saatavana: <https://www.4g-antennit.fi/news/3/kuinka-suunta-antenni-suunnataan-kotikonstein>
- Mobile Evolution. Ei päiväystä. Läpivientikaapeli ikkunan tai oven väliin. [Verkkosivu]. Mobile Evolution Oy. [Viitattu 11.4.2015]. Saatavana: <https://www.4g-antennit.fi/product/41/lapivientikaapeli-ikkunan-tai-oven-valliin>
- Mobile Evolution. Ei päiväystä. Yagi-36 professional. [Verkkosivu]. Mobile Evolutions Oy. [Viitattu 10.4.2015]. Saatavana: <https://www.4g-antennit.fi/product/213/huipputehokas-28-dbi-suuntaava-3glte-antenni-900mhz-3g-verkkoon>
- Mokkula.info. 2010. Mikä on UMTS. [Verkkosivu]. Mokkula.info. [Viitattu 29.4.2015]. Saatavana: <http://mokkula.info/verkot/mika-on-umts/>

- Otavan Opisto. 2015. Ilmakehän koostumus ja kerrokset. [Verkkosivu]. Otavan Opisto. [Viitattu 9.4.2015]. Saatavana: [http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ge/ge1/2\\_ilmakeha/01?C:D=2067072&m:selres=2067072](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ge/ge1/2_ilmakeha/01?C:D=2067072&m:selres=2067072)
- Poole, I. Ei päiväystä. Half Wave Dipole Antenna / Aerial. [Verkkosivu]. Adrio Communication Ltd. [Viitattu 29.4.2015]. Saatavana: <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/dipole/half-wave-dipole.php>
- Radio-Tv Huvila. 2015. P-70 Suunta-antenni. [Verkkosivu]. Radio-Tv Huvila Ky. [Viitattu 15.4.2015]. Saatavana: <http://www.huvilaite.fi/p70-suuntaantenni-gsmumts3g4gwlanlte-p-3136.html>
- Räisänen, A. & Lehto, A. 2003. Radiotekniikan Perusteet. 11. uud. p. Helsinki: Otatieto.
- Siptune. 2010. Mitä ovat desibelit?. [Verkkosivu]. Siptune Oy. [Viitattu 28.4.2015]. Saatavana: <http://www.siptune.net/siptune.net/tiki-index.php?page=Desibelit&highlight=desibeli>
- STK-Tietopalvelut. Ei päiväystä. Antenni – UHF antenni E 21—69 DAT HD 16, - Telves. [Verkkosivu]. STK-Tietopalvelut Oy. [Viitattu 10.4.2015]. Saatavana: <http://sahkonumerot.fi/7550236/>
- Talentum. 2012. Matkapuhelinoperaattoreiden väitetään jakavan asiakkaita kahteen kastiin. [Verkkosivu]. Talentum Oyj. [Viitattu 12.4.2015]. Saatavana: <http://www.tekniikkatalous.fi/ict/yle+matkapuhelinoperaattoreiden+vaitetaan+jakavan+asiakkaita+kahteen+kastiin/a785709>
- Tallinn University. Ei päiväystä. Liityntäverkot. [Verkkosivu]. Tallinn University. [Viitattu 13.4.2015]. Saatavana: [http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/telecom\\_network/liityntverkot.html](http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/telecom_network/liityntverkot.html)
- Telewell. Ei päiväystä. TW-3G Reititin. [Verkkosivu]. Telewell Oy. [Viitattu 11.4.2015]. Saatavana: <https://www.telewell.fi/fi/tuote/tuotannosta-poistuneet-tuotteet/wlan-tuotteet/tw-3g-router/tw-3g-reititin-802-11n>
- Telia Sonera. 2013. Huawei E3276 sim. [Verkkosivu]. TeliaSonera Finland Oyj. [Viitattu 12.4.2015]. Saatavana: [http://www5.sonera.fi/ohjeet/Tiedosto:Huawei\\_E3276\\_sim.png](http://www5.sonera.fi/ohjeet/Tiedosto:Huawei_E3276_sim.png)
- Unuth, N. 2015. 3G Technology – What is 3G?. [Verkkosivu]. About.com. [Viitattu 15.4.2015]. Saatavana: <http://voip.about.com/od/mobilevoip/p/3G.htm>
- Viestintävirasto. 2013. Radiotaajuudet ja niiden käyttö. [Verkkosivu]. Viestintävirasto. [Viitattu 28.4.2015]. Saatavana: <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radiotaajuuksienkaytto.html>

Wolff, C. Ei päivystä. Antenna Characteristics. [Verkkosivu]. Christian Wolff.  
[Viitattu 13.4.2015]. Saatavana:  
<http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Antenna%20Characteristics.en.html>