

Opinnäytetyö (AMK)
Elektronikka
Tietoliikennejärjestelmät
2015

Ilkka Meerto

4G-ANTENNIEN TESTAUS JA VERTAILU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikka | Tietoliikennejärjestelmät

Joulukuu 2015 | 53 sivua

Ohjaajat: Juha Nikkanen, Kari Johansson

Ilkka Meerto

4G-ANTENNIEN TESTAUS JA VERTAILU

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin LTE-tekniikkaan ja erityisesti sen radorajapintaan ja datanopeuteen vaikuttaviin tekijöihin sekä käytännön kenttätesteillä vertailtiin eri 4G-antennimalleja. Tavoitteena oli parantaa Suomen KTV-palvelu Oy:n 4G-antenniasennuspalvelua perehtymällä LTE-tekniikan teoriaan sekä kasvattamalla käytännön kokemusta antennien asentamisesta ja suuntausmittaamisesta. Toisena tavoitteena oli löytää sopivat 4G-antennimallit ja mobiiliverkon päätelaitteet Suomen KTV-palvelun myyntivalikoimaan.

LTE-yhteyksien radioverkon tekniikka downlink-suunnassa perustuu tehokkaaseen orthogonal frequency division multiplexing –modulaatioon. Radiokanavan resurssit voidaan jakaa käyttäjien kesken aika- ja taajuustasossa.

LTE-verkon signaalia voidaan analysoida LTEWatch-ohjelmalla. Ohjelman toiminta perustuu päätelaitteen tekemiin signaalin mittauksiin. Ohjelma näyttää signaalin voimakkuutta ja laatua kuvaavat arvot ja sillä voidaan tarvittaessa lukita päätelaite toimimaan halutulla taajuusalueella. Taajuusalueen valinnalla, radioyhteyden parantamisella ja usean antennin ”multiple input, multiple output” -tekniikkaa hyödyntämällä voidaan nostaa datanopeutta.

Työtä varten suoritettiin useita testimittauksia, joissa testattiin eri LTE-modeemimalleja ja useita eri 4G-antenneja. Testit suoritettiin mittaamalla signaalia LTEWatch-ohjelmalla ja datanopeuden mittausta tehtiin speedtest.net-sivuston testillä. Testien tulokset osoittivat, että signaalin voimakkuudella, laadulla ja erityisesti signaalin tehon suhteella kohinaan ja häiriöihin on suuri merkitys yhteyden datanopeuden kannalta. Modeemimallien välillä oli selkeät erot latausnopeuksissa. Antennimallien välillä erot eivät olleet yhtä selviä, sillä erillisillä mittauskerroilla saatiin erilaisia tuloksia johtuen eri olosuhteista. Yhtä parasta antennimallia ei voitu osoittaa, mutta testeissä huonosti pärjänneet mallit erottuivat joukosta.

Työn tavoitteisiin päästiin teoriaan perehtymisen ja kokemuksen karttumisen osalta. Absoluuttisesti parasta antennimallia ei löydetty, mutta mittausten perusteella voitiin karsia joitain malleja pois.

ASIASANAT:

4G-tekniikka, antennit, laajakaistaverkot, langaton tekniikka, tietoliikennetekniikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Communication Systems

December 2015 | 53 pages

Instructors: Juha Nikkanen, Kari Johansson

Ilkka Meerto

TESTING AND COMPARING 4G-ANTENNAS

The purpose of this thesis was firstly to examine LTE technology radio interface and the factors that affect data rate, and secondly, to test and compare external 4G antennas in practice. The objective was to improve Suomen KTV-palvelu's 4G antenna installation service by becoming familiar with the theory of LTE technology and acquiring more experience in installing, directing and measuring the antennas. The second objective was to find suitable antennas and devices that Suomen KTV-palvelu could sell.

The downlink radio interface of LTE is based on the efficient orthogonal frequency division multiplexing. Radio channel resources can be allocated between users in time and frequency domain. The LTE signal can be analyzed with the LTEWatch software. The software's operation is based on the signal measurements made by the user equipment itself. LTEWatch shows the measured power and quality indicators of the signal. With LTEWatch, it is also possible to choose between different available frequency bands. The data rate of the connection can be increased by using a frequency band with a wider bandwidth, by improving the radio channel conditions and by utilizing the "multiple input, multiple output" antenna technology.

Several measurement and test occasions were carried out for this thesis. Different LTE modems and antenna models were tested. The tests were conducted by measuring the signal with LTEWatch software and data rates were measured with the test provided by the speedtest.net site. The results demonstrate that the power and quality of the signal are important factors affecting the data rate. Especially important is the signal to interference and noise ratio. A clear difference in data speeds between different modems could be observed from the results. Differences between antennas were not as clear because results differed between measuring occasions as the conditions were different. A single best antenna model could not be found but the antennas that did not perform well in the tests stood out.

The objectives of the thesis were partly met. A great deal of experience and general knowledge regarding LTE technology was gained. However, a single superior antenna model was not discovered, but the tests helped to eliminate some weaker models.

KEYWORDS:

4G-technology, antennas, broadband networks, wireless technology, communication technology

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	9
2 LTE:N LIITYNTÄVERKKO	12
2.1 E-UTRAN ja rajapinnat	12
2.2 Taajuuskaista, FDD ja TDD	12
3 LTE:N UU-RAJAPINNAN LÄHETYTEKNIikka DOWNLINK-SUUNNASSA	14
3.1 Modulaatiotekniikat OFDM ja OFDMA	14
3.2 Radiokehys	15
3.3 Resurssielementti ja resurssilohko	16
3.4 Resurssien jako	18
3.5 Fyysisen kerroksen kanavat	18
4 LTEWATCH-OHJELMA SIGNAALIN ANALYSOINTIIN	20
4.1 LTEWatch-ohjelma	20
4.2 LTEWatch-ohjelman ominaisuudet.	20
4.3 Received Signal Reference Power, RSRP	21
4.4 Received Signal Strength Indicator, RSSI	23
4.5 Received Signal Quality Indicator, RSRQ	23
4.6 Signal to Interference and Noise Ratio, SINR	25
5 KEINOJA DATANOPEUDEN PARANTAMISEKSI	27
5.1 Taajuusalueen valinta	27
5.2 Channel Quality Indicator –luvun nostaminen	27
5.3 Multiple Input Multiple Output eli MIMO ja spatiaalinen multipleksaus	29
6 LAITTEIDEN JA ANTENNIEN TESTAUS JA VERTAILU 800 MHZ:N TAAJUUSALUEELLA	31
6.1 Testattavat laitteet ja antennit	31
6.2 Testauspaikka ja olosuhteet	32
6.3 Laitteiden ja antennien testausmenetelmä	32
6.4 Modeemien vakioantennien testaus	34
6.5 Antennien asennus	35

6.6 Speedtest-mittaustulokset	36
6.7 LTEWatch-mittaustulokset	38
6.8 Päätelmiä ja johtopäätöksiä	39

7 ANTENNIEN TESTAUS JA VERTAILU 800 MHZ:N JA 1800 MHZ:N

TAAJUUSALUEELLA	40
7.1 Testaus- ja mittausmenetelmä	40
7.2 Testattavat antennit	41
7.3 Testauspaikka ja olosuhteet	41
7.4 Speedtest-mittaustulokset	43
7.5 LTEWatch-mittaustulokset	46
7.6 Havainnot 1800 MHz:n verkon mittauksista	49
7.7 Havainnot 800 MHz:n verkon mittauksista	50

8 YHTEENVETO

LÄHTEET	52
----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. Dipol ATK-LOG LTE datalehti	
Liite 2. Dipol ATK-LOG ALP LTE datalehti	
Liite 3. Panorama Antennas WMM8G-7-27 datalehti	
Liite 4. CSG REN 67027012X datalehti	
Liite 5. Delta Optik ATK-P17/LTE datalehti	
Liite 6. Satec RF-5 datalehti	

KUVAT

Kuva 1. LTE-verkon rajapinnat (Baha 2013).	12
Kuva 2. OFDM-modulaation periaate (3GPP TR 25.892).	15
Kuva 3. Ykköstyyppin radiokehysten rakenne (3GPP TS 36.211).	16
Kuva 4. Resurssielementti ja resurssilohko (3GPP TS 36.211).	17
Kuva 5. Resurssilohkojen jako aika- ja taajuustasossa (Rohde & Schwartz 2012, 16).	18
Kuva 6. Radiokehysten resurssiruudukko (Dhagle 2015).	19
Kuva 7. LTEWatch-käyttöliittymä.	21
Kuva 8. Referenssisignaalin sijainti resurssilohkoissa yhden ja kahden antennin kokoonpanoilla (3GPP TS 36.211).	23
Kuva 9. MIMO ja spatiaalinen multipleksaus (Share Technote 2015).	29

Kuva 10. Rymättylän testauspaikka ja antennin asennuspiste.	32
Kuva 11. Speed wave -mittaussarjan esimerkkitulo, antenni WMM8G, modeemi Huawei B315s.	33
Kuva 12. Mittauskytkentä 23.8.2015	34
Kuva 13. Modeemien vakioantennien testaus.	34
Kuva 14. ATK-LOG LTE:n ja WMM8G-7-27:n asennus.	35
Kuva 15. ATK-LOG ALP 45°:n kulmissa yhdessä ja erikseen.	35
Kuva 16. Mittauskytkentä 6.10.2015	40
Kuva 17. Mittaus Littoistenjärven lintutornissa. Kuvan antenni WMM8G.	42
Kuva 18. ATK-LOG ALP LTE 90°:n ja 45°:n kulmissa.	42

KUVIOT

Kuvio 1. Laajakaistaliittymien määrä Suomessa (Viestintävirasto 2015).	11
Kuvio 2. Puhelimet suomalaisissa kotitalouksissa (Viestintävirasto 2015).	11
Kuvio 4. Download-nopeus eri antennimalleilla ja laitteilla 23.8.2015.	37
Kuvio 5. Upload-nopeus eri antennimalleilla ja laitteilla 23.8.2015.	37
Kuvio 6. RSRP- ja RSSI-keskiarvot Huawei B315s -modeemista 23.8.2015.	38
Kuvio 7. RSRQ- ja SINR-keskiarvot B315s-modeemista 23.8.2015.	39
Kuvio 8. Download-latausnopeudet DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	45
Kuvio 9. Download-latausnopeudet DNA:n 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	45
Kuvio 10. Upload-nopeus DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	46
Kuvio 11. Upload-nopeus DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015	46
Kuvio 12. RSRP- ja RSSI-keskiarvo 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	48
Kuvio 13. RSRP- ja RSSI-keskiarvo 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	48
Kuvio 14. RSRQ- ja SINR-keskiarvo 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	49
Kuvio 15. RSRQ- ja SINR-keskiarvo 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	49

TAULUKOT

Taulukko 1. E-UTRAN-taajuudet Suomessa (European Communications Office 2015).	13
Taulukko 2. Resurssilohkojen määrä eri kaistanleveyksillä, FDD ja TDD (3GPP TS 36.101).	17
Taulukko 3. RSRP:n arviointi (LTE-Anbieter 2015).	22
Taulukko 4. RSRQ:n raportointiarvot (3GPP TS 36.133).	24
Taulukko 5. RSRQ:n arviointi (LTE-Anbieter 2015).	25
Taulukko 6. SINR:n arviointi (LTE-Anbieter 2015).	26
Taulukko 7. CQI-luku, modulaatiomenetelmä ja koodaussuhde (3GPP TS 36.213).	28
Taulukko 8. Lähetystavat (Rohde & Schwartz 2012, 39).	30
Taulukko 9. Speedtest-mittausten tulokset 23.8.2015.	36
Taulukko 10. LTEWatch-ohjelmalla mitatut arvot 23.8.2015	38
Taulukko 11. Speedtest-mittaustulokset DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	43
Taulukko 12. Speedtest-mittaustulokset DNA:n 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.	44
Taulukko 13. LTEWatch-mittaustulokset DNA:n 1800 MHz:n verkosta 6.10.2015.	47
Taulukko 14. LTEWatch-mittaustulokset DNA:n 800 MHz:n verkosta 6.10.2015.	47

KÄYTETYT LYHENTEET

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ADSL2+	Asymmetric Digital Subscriber Line. Laajakaistainen tiedon- siirtotekniikka. (Wikipedia 2015, ADSL2+)
CQI	Channel Quality Indicator. LTE:n radioyhteyden laatua ku- vaava luku. (Rohde & Schwartz 2012, 43)
eNB	Evolved Node B. LTE-verkon tukiasema (Baha 2013)
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network. LTE-tekniikan liityntäverkko. (Baha 2013)
FDD	Frequency Division Duplex. Taajuusjakoinen duplexi. (Rohde & Schwartz 2012, 4)
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Usean lähettävän ja vastaan- ottavan antennin tekniikka (Share Technote)
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing. Ortogonaalinen taajuusjakoinen multipleksaus. (Rohde & Schwartz 2012, 10)
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access. LTE:n käyt- tämä modulaatiotekniikka. (Rohde & Schwartz 2012, 10)
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel. Fyysinen datakanava, kuljettaa käyttäjien dataa. (Rohde & Schwartz 2012, 15)
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying. Vaihemodulaatiomenetelmä. (Rohde & Schwartz 2012, 105)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation. Vaihe- ja amplitudimodu- laatiomenetelmä. (Rohde & Schwartz 2012, 105)
RSRP	Received Signal Reference Power. Päätelaitteen mittaama referenssignaalin teho. (La Rocca 2015)
RSRQ	Received Signal Reference Quality. Päätelaitteen laskema yhteyden laatua kuvaava luku. (La Rocca 2015)
RSSI	Received Signal Strength Indicator. Päätelaitteen mittaama signaalin kokonaisteho. (La Rocca 2015)
SINR	Signal to Interference and Noise Ratio. Signaalin tehon suhde häiriöihin ja kohinaan. (La Rocca 2015)
TDD	Time Division Duplex. Aikajakoinen duplexi. (Rohde & Schwartz 2012, 4)
UE	User Equipment. Mobiiliverkon päätelaite, esimerkiksi matka- puhelin tai modeemi (Rohde & Schwartz 2012, 15)

Uu

LTE-verkon tukiaseman ja päätelaitteen välinen rajapinta
(Baha 2013)

1 JOHDANTO

Mobiililaajakaistaliittymien määrä Suomessa on kasvanut räjähdysmäisesti. Viestintävirasto alkoi laskemaan mobiililaajakaistaliittymät osana laajakaistaliittymien määrää vuonna 2007, kuten sivun 10 kuvio 1 paljastaa. Mobiililiittymien määrän kasvua selittää älypuhelimien yleistymisen. Viimeisimmän tilaston mukaan mobiililiittymiä oli vuonna 2014 yli 6 miljoonaa, joista n. 3,5 miljoonaa on rajoittamattomalla datasiirrolla, kuten kuvio 1 osoittaa. Jo yli 60 % suomalaisista kotitalouksista omistaa yhden tai useamman älypuhelimien, kuten sivun 10 kuvio 2 voi tulkita. Mobiili-internet-yhteyden tietokoneisiin mahdollistavia USB-modeemeja on Suomessa käytössä yli miljoona (Halonen ym. 2014, 5).

Mobiililiittymiä käytetään myös korvaamaan vanhoja kiinteitä internetyhteyksiä, sillä niillä on mahdollista saavuttaa paremmat datansiirtonopeudet. Vertailuesimerkkinä ADSL2+, jonka teoreettinen maksimilatausnopeus on 24 Mb/s, ja LTE, jonka teoreettinen maksimilatausnopeus on uusimalla tekniikalla jopa 300 Mb/s. Lisäksi mobiililaajakaistalla voidaan mahdollistaa internet-yhteys sinne, minne sitä ei aikaisemmin ole kustannustehokkaasti saatu. (Wannstrom 2013; Wikipedia 2015)

Useammalle käyttäjälle tarkoitettu mobiilineti kotona tai esimerkiksi mökillä voidaan toteuttaa mobiiliverkon reitittimellä, joka jakaa verkkoyhteyden langattomalla lähiverkolla. Saatavilla on myös malleja, joihin voi kytkeä useamman tietokoneen myös langallisesti. Aina kyseisillä laitteilla ei kuitenkaan saavuteta luvattuja datanopeuksia mobiiliverkon heikon kuuluvuuden vuoksi. Tällöin yhteyden nopeutta ja luotettavuutta voidaan parantaa lisäantennilla.

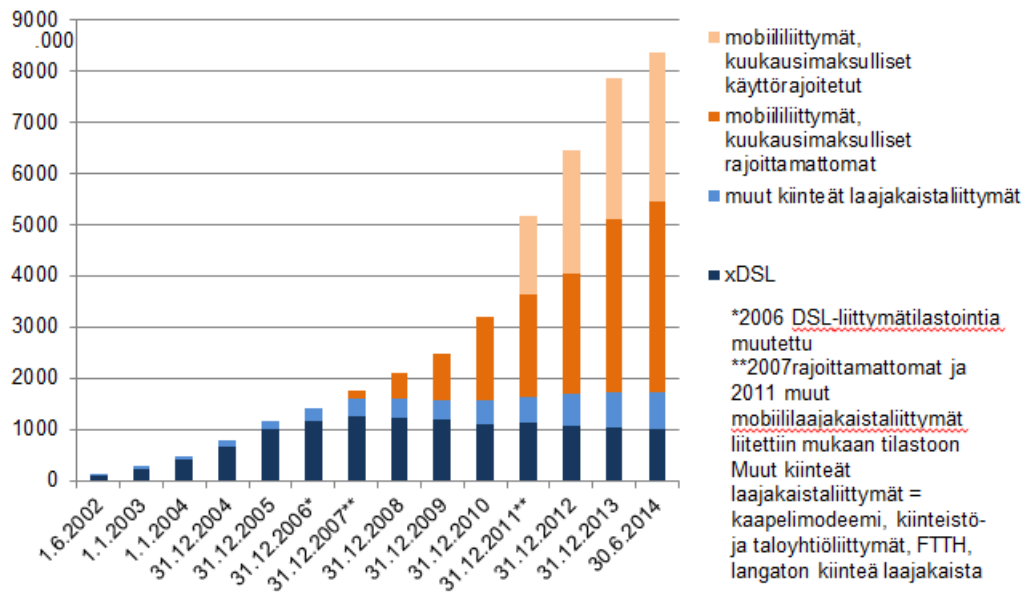
Suomen KTV-palvelu myy 3G- ja 4G-lisäantenneja ja tarjoaa lisäksi myös antennien ja laitteiden asennuspalvelun. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa asennuspalvelua perehtymällä LTE-tekniikkaan ja erityisesti sen radiorajapintaan. Tavoitteena on tuoda esille niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat yhteyden datanopeuksiin, jotta nämä tekijät osataan ottaa huomioon asennuksia tehtäessä.

Toisena tavoitteena työssä on eri antennimalleja ja laitteita käytännössä testamalla ja mittaamalla löytää sopivat mallit ja laitteet myyntivalikoimaan. Lisäksi mittauksista on tavoitteena saada käytännön kokemusta antennien asennustöitä varten.

Työssä esitellään ensin LTE-verkon radorajapinnan lähetystekniikka downlink-suunnassa, jotta tärkeimmät käsitteet ja termit tulevat tutuiksi. Seuraavaksi esitellään ohjelma, jonka avulla LTE-signaalin voimakkuutta ja laatua voidaan mitata ja esitellään ohjelman mittaamat suureet. Seuraavassa luvussa käsitellään data-nopeuteen vaikuttavia tekijöitä ja keinoja nopeuden parantamiseksi.

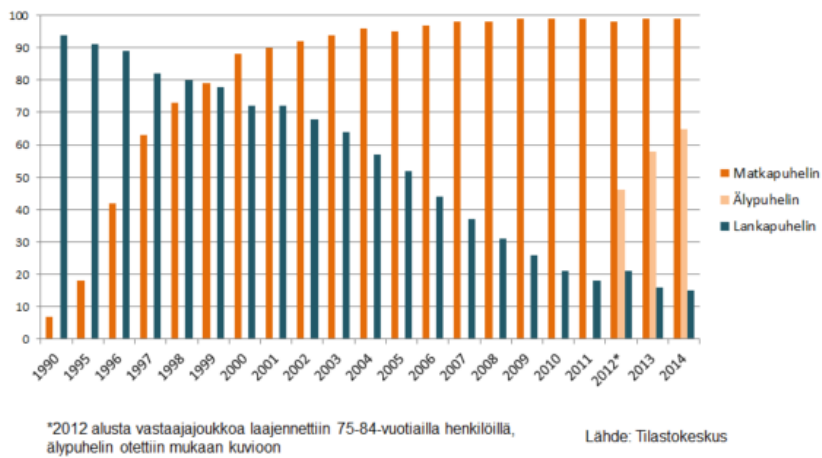
Viimeisenä työssä esitellään mittausmenetelmät ja mittaustulokset kahdelta antennien mittaus- ja testauskerralta. Opinnäytetyön tekemisen aikana suoritettiin useampia mittauksia, mutta työhön esiteltäväksi valittiin ensimmäinen ja viimeisin mittauskerta.

Kaikki lähdemateriaali työhön löydettiin internetistä. Tärkeänä lähdemateriaalina toimivat eri yritysten ja yhteisöjen julkaisemat LTE-tekniikkaa käsittelevät artikkelit ja sivustot, kuten esimerkiksi Sharetechnote.com –sivusto ja saksalainen LTE-Anbieter.info –sivusto. Muiden insinööriopiskelijoiden samasta aihealueesta tekemät opinnäytetyöt, kuten *4G-Mobiiliverkot – LTE* (Kopakkala 2012) ja *LTE-verkon mittaus* (Summanen 2013) antoivat tämän työn tekemiseen uusia näkökulmia. Niissä on käsitelty joitain tässäkin työssä esiteltyjä aihealueita tarkemmin, joten niihin perehtyminen tämän työn lisäksi antaa laajemman kuvan LTE-tekniikasta.



Lähde: Viestintävirasto

Kuvio 1. Laajakaistaliittymien määrä Suomessa (Viestintävirasto 2015).



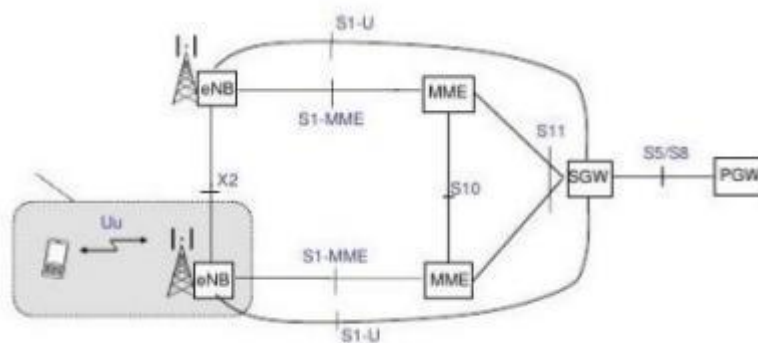
Lähde: Tilastokeskus

Kuvio 2. Puhelimet suomalaisissa kotitalouksissa (Viestintävirasto 2015).

2 LTE:N LIITYNTÄVERKKO

2.1 E-UTRAN ja rajapinnat

LTE-tekniikan liityntäverkkoa kutsutaan E-UTRAN-verkoksi (Evolved Universal Terrestrial Access Network). E-UTRAN muodostuu tukiasemista (evolved NodeB, eNB), jotka ovat yhteydessä toisiinsa X2-rajapinnan kautta. Lisäksi eNB:t ovat yhteydessä runkoverkkoon S1-rajapinnan kautta. Tukiasemilla ei ole yhteistä ohjauskeskusta, kuten 3G-verkoissa, vaan eNB:t itsessään toimivat verkon ”älynä”. Tämä mahdollistaa nopeamman yhteyden muodostuksen ja yhteyden vaihdon (handover) tukiasemasta toiseen. Tukiaseman ja päätelaitteen (user equipment, UE) välistä radorajapintaa kutsutaan Uu:ksi. (Nohrborg; Baha 2013)



Kuva 1. LTE-verkon rajapinnat (Baha 2013).

2.2 Taajuuskaista, FDD ja TDD

E-UTRAN-verkko voi käyttää useita eri kaistanleveyksiä. 3GPP on määrittänyt käytettäviksi kaistanleveyksiksi 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz ja 20 MHz.

LTE tukee aikajakoista TDD (time division duplexing) -tekniikkaa ja taajuusjakoista FDD (frequency division duplexing) tekniikkaa uplink- ja downlink-suunnan erottamiseen. Suomessa operaattorit käyttävät taajuusjakoista tekniikkaa. Taulukossa 1 on suomalaisten operaattorien käyttämät E-UTRAN uplink ja downlink

taajuuskaistat. Huomattavaa on, että 800 MHz:n taajuusalueesta käydyssä taajuushuutokaupassa kukin operaattori sai vain 10 MHz leveän taajuuskaistan käyttöönsä, jolloin kaista ei riitä LTE:n maksimidatanopeuksiin.

Taulukko 1. E-UTRAN-taajuudet Suomessa (European Communications Office 2015).

f DL (MHz)	f UL (MHz)	Operaattori
791 - 801	832 - 842	DNA
801 - 811	842 - 852	Teliasonera
811 - 821	852 - 862	Elisa
1805,1 - 1829,9	1710,1 - 1734,9	TeliaSonera
1830,1 - 1854,9	1735,1 - 1759,9	DNA
1855,1 - 1879,9	1760,1 - 1784,9	Elisa
2620 - 2640	2500 - 2520	DNA
2650 - 2665	2520 - 2545	TeliaSonera
2665 - 2690	2545 - 2570	Elisa

3 LTE:N UU-RAJAPINNAN LÄHETYTEKNIikka

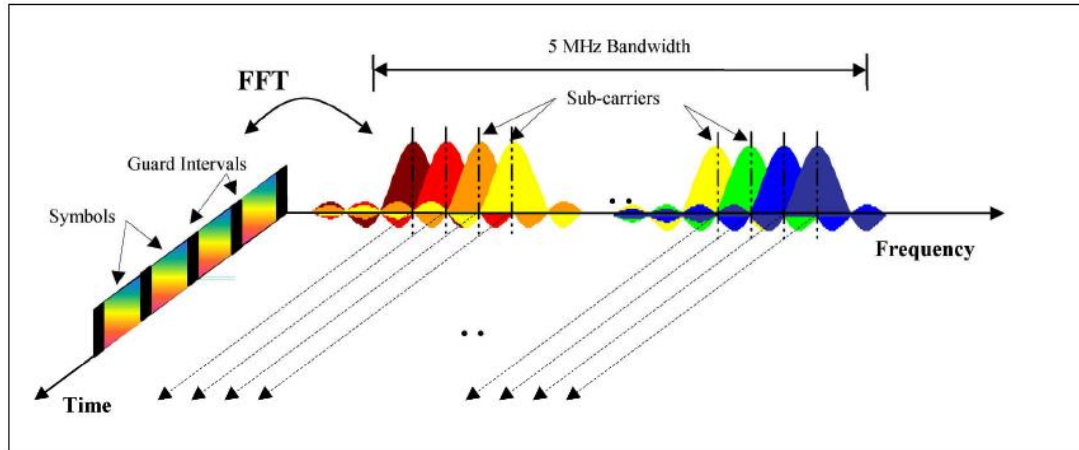
DOWNLINK-SUUNNASSA

3.1 Modulaatiotekniikat OFDM ja OFDMA

LTE:n downlink-suunnan radiotekniikka perustuu OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) -modulaatioon, niin FDD- kuin TDD-jaolla. OFDM-tekniikassa käytettävällä taajuusalueella lähetetään yhden kantaallon sijaan useita kapeakaistaisia kantaaltoja, eli alikantaaltoja, jotka ovat keskenään ortogonaalisia, eli ne eivät häiritse toisiaan. LTE:ssä alikantaaltojen väli on 15 kHz. (Rohde & Schwartz 2012, 10, 12)

Jokaiseen alikantaaltoon on moduloitu datasympboleja. Symbolit on moduloitu QPSK-, 16QAM- tai 64QAM-modulaatiolla. Symbolien väliin on aikatasossa lisätty suojaväli (guard interval) monitie-etenemisen viive-eroista aiheutuvien symbolien keskinäisten häiriöiden (inter symbol interference, ISI) ehkäisemiseksi. LTE-tekniikassa tästä suojavälistä käytetään nimeä cyclic prefix, ja siitä on kaksi versiota, normaali ja pidennetty. Pidennettyä suojaväliä tarvitaan suuremman peittoalueen soluissa, koska näissä myös monitie-etenemisen aiheuttama viive-ero on suurempi. (Rohde & Schwartz 2012, 10)

Kuvassa 2 esitetään OFDM-signaalin perusperiaate aika- ja taajuustasossa. (Rohde & Schwartz 2012, 10)



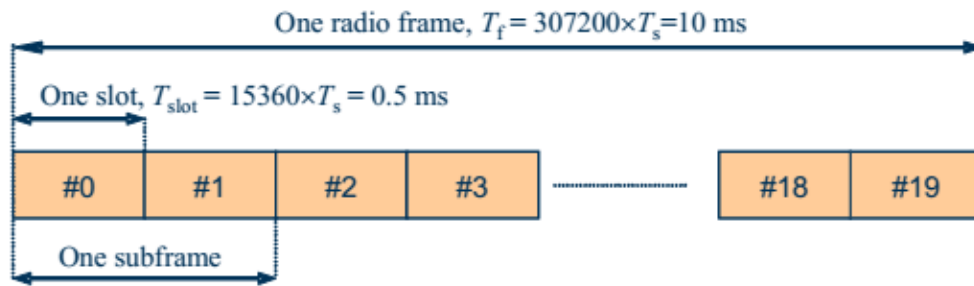
Kuva 2. OFDM-modulaation periaate (3GPP TR 25.892).

LTE-tekniikan käyttämä OFDMA, eli Orthogonal Frequency Division Multiple Access mahdollistaa radiokanavan resurssien jaon usealle käyttäjälle niin aika- kuin taajuustasossakin.

3.2 Radiokehys

E-UTRAN-radioverkossa käytetään kahdenlaista radiokehystä. FDD-jakotekniikalla käytetään 10 ms:n ykköstyyppin kehystä, ja TDD-jakotekniikalla käytetään kakkostyyppin radiokehystä, joka koostuu kahdesta 5 ms:n puolikehyksestä.

Tyyppin 1 radiokehys on jaettu kymmeneen 1 ms:n pituiseen alikehykseen. Alikehykset taas ovat jaettu kahteen 0,5 ms:n pituiseen aikalohkoon. Yhteen aikalohkoon mahtuu 7 tai 6 symbolia alikantoaaltoa kohden, riippuen onko käytössä normaali vai pidennetty suojaväli. (Rohde & Schwartz 2012, 12)



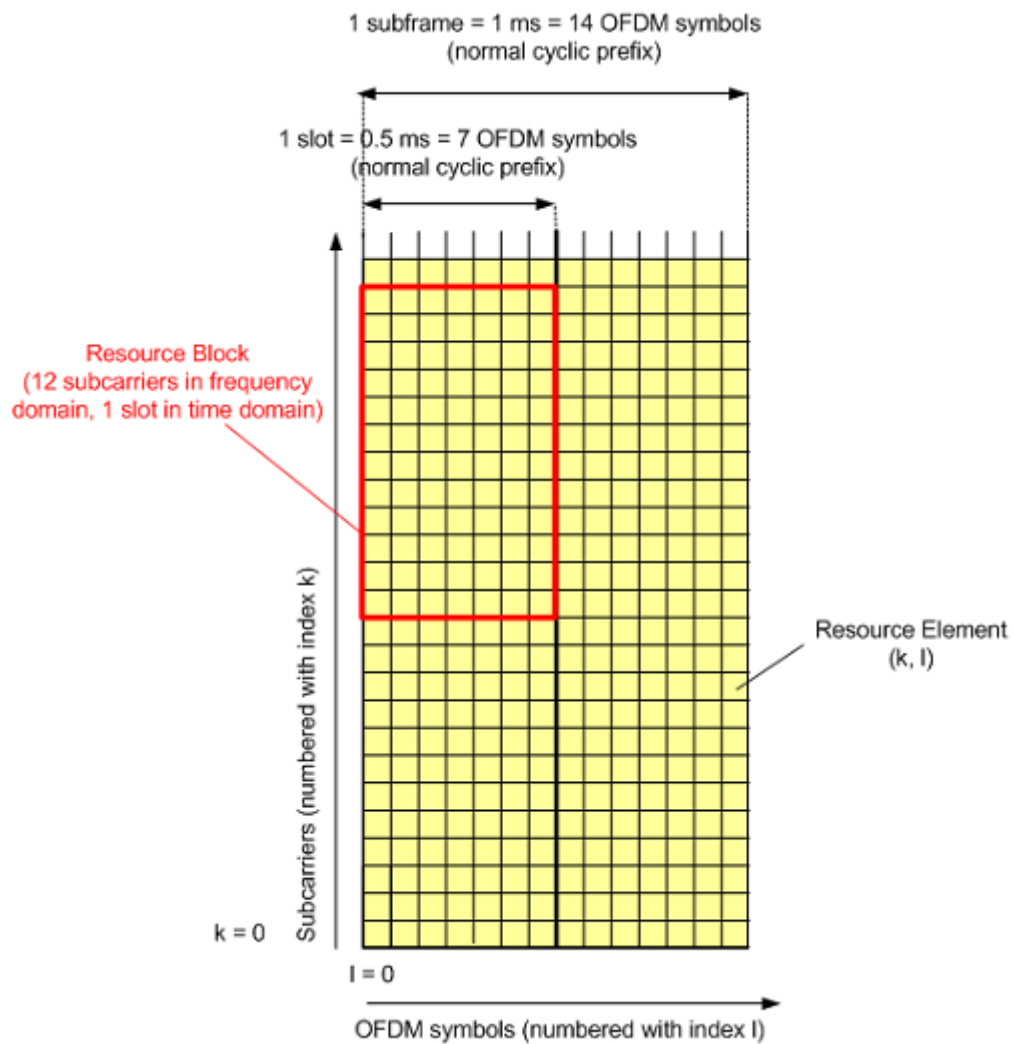
Kuva 3. Ykköstyyppin radiokehiksen rakenne (3GPP TS 36.211).

3.3 Resurssielementti ja resurssilohko

Aikatasossa yhden symbolin pituinen aika ja taajuustasossa yhden alikantoaallon kaistanleveys muodostavat yhden resurssielementin. Yhtein resurssielementtiin mahtuu siis yhden OFDM-symbolin verran dataa.

Resurssilohko muodostuu 12 alikantoaallosta ja yhdestä 0,5 ms:n aikalohkosta, eli kun yksi alikantoaalto on 15 kHz:ä leveä, käyttää yksi resurssilohko 180 kHz:ä taajuuskaistasta. Yksi resurssilohko sisältää 84 resurssielementtiä.

Kuva 4 esittää resurssielementin ja resurssilohkon periaatteen.



Kuva 4. Resurssielementti ja resurssilohko (3GPP TS 36.211).

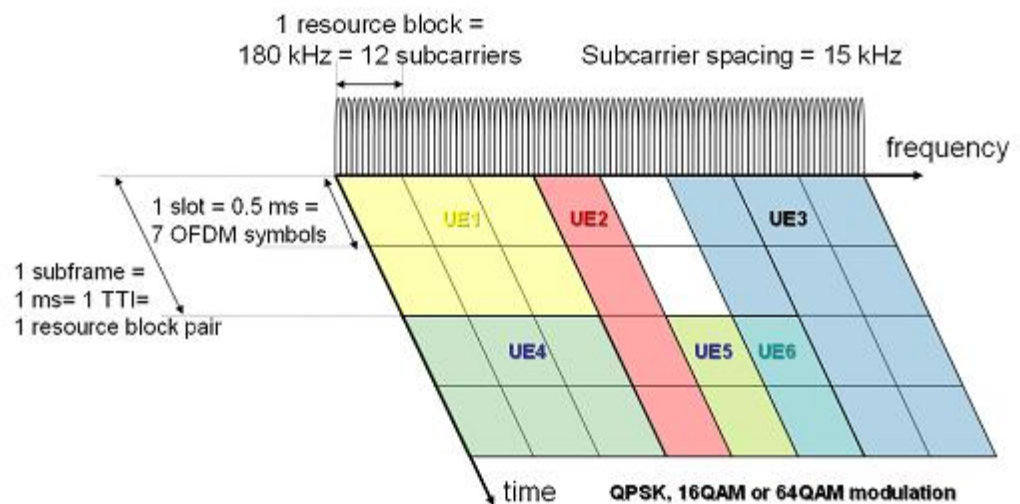
Käytettävissä olevien resurssilohkojen määrä riippuu käytetystä kaistanleveydestä. Taulukko 2 esittää resurssilohkojen määrän eri LTE-yhteydelle määritetyillä kaistanleveyksillä. (Rohde & Schwartz 2012, 14)

Taulukko 2. Resurssilohkojen määrä eri kaistanleveyksillä, FDD ja TDD (3GPP TS 36.101).

Kaistanleveys [MHz]	1,4	3	5	10	15	20
Resurssilohkot	6	15	25	50	75	100

3.4 Resurssien jako

Radiokanavan jako käyttäjien välillä tapahtuu allokoimalla taajuustasossa yksi tai useampi kokonainen resurssilohko päätelaitetta kohden. Samalle päätelaitteelle osoitettujen resurssilohkojen ei tarvitse olla vierekkäin taajuustasolla. Tukiasema tekee päätöksen resurssilohkojen jaosta 1 ms:n välein, eli yhden alikehyksen välein. Näin ollen pienin allokoitavissa oleva resurssiyksikkö on aikatasossa kahden resurssilohkon pari. Kuva 5 esittää esimerkkitilannetta resurssilohkojen jaosta eri päätelaitteille aika- ja taajuustasossa, kun käytössä on normaali suojaväli. (Guochao, W. 2013, Rohde & Schwartz 2012)

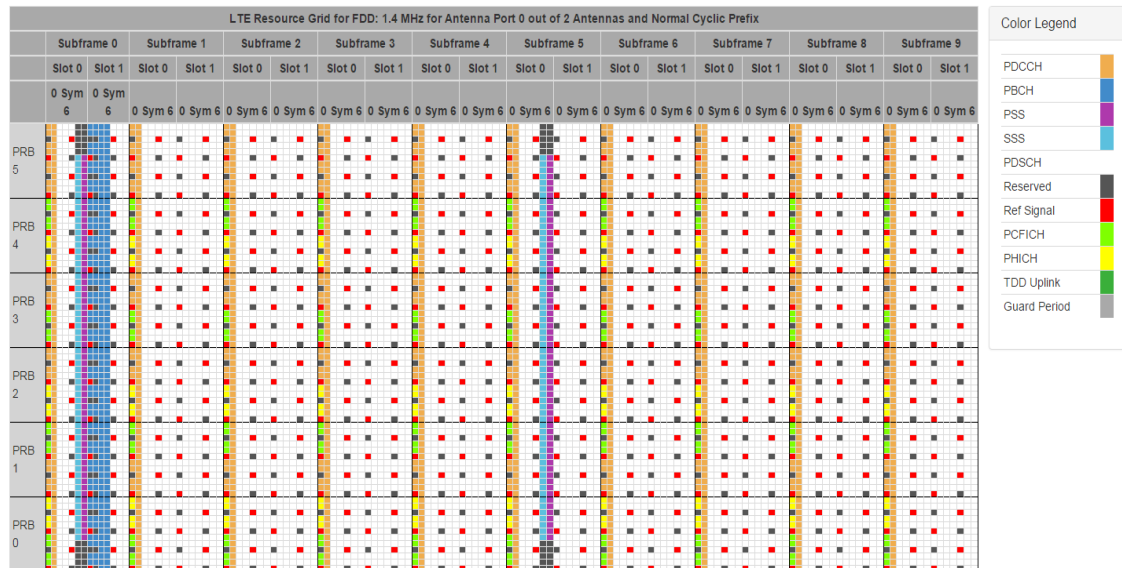


Kuva 5. Resurssilohkojen jako aika- ja taajuustasossa (Rohde & Schwartz 2012, 16).

3.5 Fyysisen kerroksen kanavat

LTE-yhteyden fyysinen kerros on jaettu kanaviin, jotka voidaan luokitella käyttötarkoituksensa mukaan fyysisiin datakanaviin ja fyysisiin ohjauskanaviin.

Eri kanavien käyttöön on varattu tietyt resurssielementit radiokehyksestä kuten kuvan 6 esimerkki radiokehysten resurssiruudukosta osoittaa. Esimerkkikehyksen parametreina oli 1,4 MHz kaistanleveys, FDD-jako ja normaali suojavaäli.



Kuva 6. Radiokehysten resurssiruudukko (Dhagle 2015).

Physical Downlink Shared Channel, PDSCH, kuljettaa LTE-yhteyden hyötykuormaa eli käyttäjien dataa. Kanavan symbolit voidaan moduloida QPSK-, 16QAM- tai 64QAM-modulaatiolla. Suurin osa resurssielementeistä on varattu PDSCH:lle.

Ohjauskanavat kuljettavat tietoa muun muassa radioyhteyden laadusta ja resurssien jaosta. Fyysisiä ohjauskanavia downlink-suunnassa ovat Physical Control Format Information Channel (PCFICH), Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) ja Physical Downlink Control Channel (PDCCH).

Lisäksi tukiasema lähettää kaksi synkronointisignaalia, joita ovat Primary Synchronization Signal (PSS) ja Secondary Synchronization Signal (SSS). Synkronointisignaaleja käytetään päätelaitteen muodostaessa yhteyttä tukiasemaan. (Rohde & Schwartz 2012, Tutorials Point 2015)

4 LTEWATCH–OHJELMA SIGNAALIN ANALYSOINTIIN

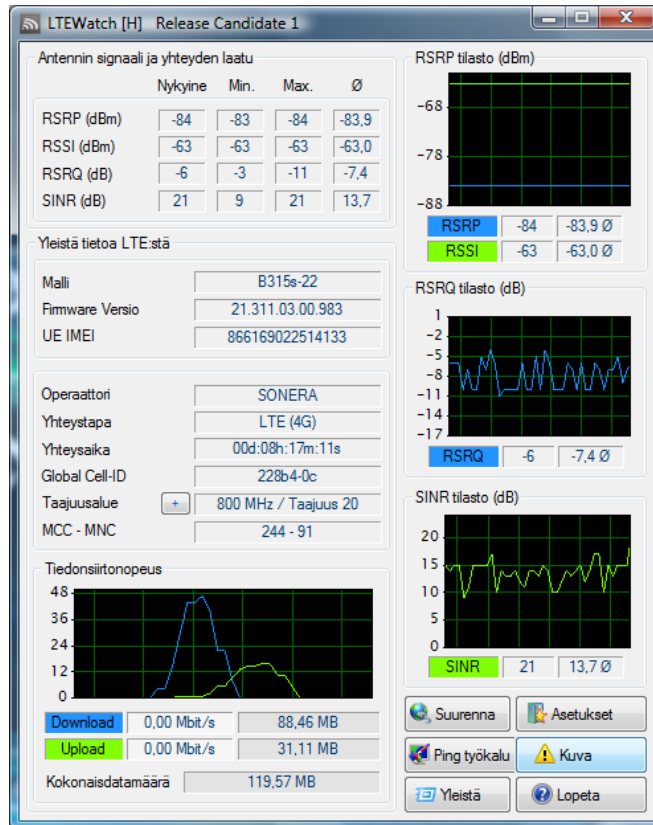
4.1 LTEWatch-ohjelma

LTEWatch on saksalaisen LTE-Anbieter.info –sivuston tarjoama ilmainen ohjelma mobiiliverkkojen signaalin voimakkuuden ja yhteyden laadun tarkkailuun. Ohjelman toiminta perustuu päätelaitteen tekemiin mittauksiin. Mobiiliverkkojen päätelaitteiden pitää jatkuvasti mitata muun muassa signaalin voimakkuutta ja signaali-kohinasuhdetta ja raportoida mittauksista tukiasemalle. Osassa LTE-modeemeista osaa näistä arvoista voi tarkkailla laitteen oman ohjelmiston avulla. LTEWatch –ohjelma tuo kuitenkin nämä mittaustulokset esille helposti luettavaan muotoon lähes reaaliajassa ja on helppokäyttöisempi kuin modeemien omat käyttöliittymät, mikä tekee siitä paremman työkalun signaalin analysointiin kuin laitteiden oma ohjelmisto.

Ohjelmasta on tarjolla kahta eri versiota. Alkuperäinen versio toimi vain AMV:n Fritz!Box –mallisten modeemien kanssa. Myöhemmin ohjelmasta julkaistiin Huawei -yhteensopiva versio, joka toimii Huaweiin laitteissa, joissa on HiLink -käyttöliittymä. Tässä työssä käytettiin Huawei –versiota yhdessä Huaweiin B315s -modeemin ja E3372 USB-modeemin kanssa. (LTE-Anbieter 2015)

4.2 LTEWatch-ohjelman ominaisuudet.

Kuvassa 7 on LTEWatch–ohjelman graafinen käyttöliittymä. Kuten kuvasta näkee, ohjelma näyttää hetkelliset signaalin voimakkuudesta ja laadusta kertovat arvot, mittauksen aikaisen minimi- ja maksimiarvon, sekä laskee mittauksen aikaisen keskiarvon. Lisäksi ohjelma piirtää käyrää mitatuista arvoista sekä arvioidusta tiedonsiirtonopeudesta. Mittausaika alkaa ohjelman käynnistämisestä. Mittaustulosten päivitystiheyttä voidaan säätää 1,1 – 10 s:n välillä ja graafisen käyrän aikajanaa voi säätää 30 – 300 s:n pituiseksi.



Kuva 7. LTEWatch-käyttöliittymä.

Ohjelma tunnistaa käytetyn modeemin mallin ja ohjelmiston version, sekä laitekohtaisen IMEI-tunnuksen. Lisäksi ohjelma kertoo solun tunnuksen, Global Cell-ID:n, johon yhteys on muodostettu. Yksi LTEWatchin hyödyllisimmistä ominaisuuksista on taajuusalueen valinta, jolla päätelaite voidaan lukita halutessa käyttämään tietyn taajuusalueen yhteyttä. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi 20 MHz leveää 1800 MHz:n taajuusaluetta 10 MHz leveään LTE800-kaistan sijaan. (LTE-Anbieter 2015)

4.3 Received Signal Reference Power, RSRP

Vastaanotetun signaalin tehosta kertoo parhaiten RSRP:n arvo. RSRP osoittaa tukiaseman lähettämän solukohtaisen referenssisignaalin yhden resurssielementin keskimääräisen tehon. Referenssisignaalin teho on tärkeä tekijä päätelaitteen

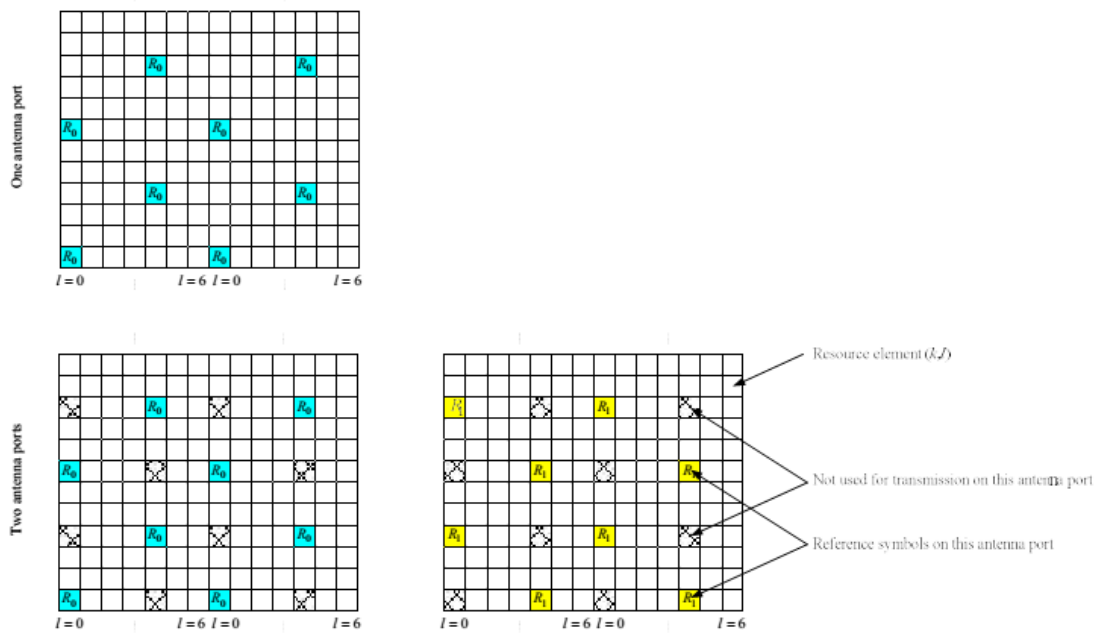
valitessa tukiasemaa. Päätelaitte raportoivat RSRP:n arvot tukiasemalle. Raportoidun RSRP:n vaihteluväli voi olla -44...-140 dBm. LTE-Anbieter-sivusto arvioi yhteyden laatua RSRP:n arvolla taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. RSRP:n arviointi (LTE-Anbieter 2015).

RSRP	Arvosana	Kommentti
-50...-65 dBm	1 (erittäin hyvä)	Erinomainen vastaanotto.
-65...-80 dBm	2 (hyvä)	Hyvät, riittävät vastaanotto-olosuhteet.
-80...-95 dBm	3 (tydyttävä)	Ei täydelliset, mutta riittävät vastaanotto-olosuhteet vakaaseen yhteyteen.
-95...-105 dBm	4 (riittävä)	Vielä riittävät vastaanotto-olosuhteet, mutta datanopeus on rajoitettu. Yhteyden katkeaminen on mahdollista.
-110...-125 dBm	5 (huono)	Heikko, toimenpiteitä tarvitaan. Yhteyttä ei todennäköisesti voi muodostaa.
-125...-140 dBm	6 (riittämätön)	Erittäin huono, yhteyttä ei voi todennäköisesti muodostaa.

Päätelaitte mittaa referenssisignaalin tehon antenniliittimeltään. RSRP:n arvo saadaan mittaamalla kaikkien solukohtaista referenssisignaalia kuljettavien resurssielementtien teho ja laskemalla tehon keskiarvo resurssielementtiä kohden. RSRP lasketaan antenniportille 0 tarkoitetun referenssisignaalin R0 resurssielementeistä, mutta jos käytössä on kahden antennin kokoonpano, voidaan RSRP:n laskemiseen käyttää myös antenniportin 1 referenssisignaalia R1, jolloin saadaan tarkempi arvo.

Referenssisignaaleille varatut resurssielementit sijaitsevat vakioituilla paikoilla resurssilohkossa, riippuen käytetystä antennikokoonpanosta, kuvan 8 mukaisesti. (La Rocca, M. 2015, LTE-Anbieter 2015)



Kuva 8. Referenssisignaalin sijainti resurssilohkoissa yhden ja kahden antennin kokoonpanoilla (3GPP TS 36.211).

4.4 Received Signal Strength Indicator, RSSI

RSSI on päätelaitteen koko kaistanleveydeltä mittaama kokonaisteho, sisältäen myös kohinan ja häiriösignaalien tehon. Päätelaite mittaa RSSI:n antenniliittimeltään. Teho mitataan demoduloimattomasta signaalista, joten päätelaite voi tehdä mittauksen ilman synkronointia ja demodulointia. Päätelaite ei raportoisi RSSI:n arvoa tukiasemalle, mutta sitä käytetään RSRQ:n laskemiseen, joka taas raportoidaan tukiasemalle. (Share Technote 2015)

4.5 Received Signal Quality Indicator, RSRQ

RSRQ:n arvoa ei mitata, vaan päätelaite laskee arvon RSRP:n ja RSSI:n avulla. Desimaalilukuna RSRQ määritetään RSRP:n ja RSSI:n suhteena kaavalla:

$$RSRQ = \frac{N \times RSRP [W]}{RSSI [W]}$$

(LTE-Anbieter 2015)

jossa N on resurssilohkojen määrä mitatulla taajuuskaistalla ja RSRP:n sekä RSSI:n tehon yksikkö on Watteina.

RSRQ:n arvo desibeleinä lasketaan kaavalla:

$$RSRQ [dB] = 10 \times \log\left(N \times \frac{10^{\frac{RSRP [dBm]}{10}}}{10^{\frac{RSSI [dBm]}{10}}}\right)$$

(LTE-Anbieter 2015)

jossa N on resurssilohkojen määrä.

Näin ollen RSRQ osoittaa referenssisignaalin tehon osuuden päätelaitteen vastaanottamasta E-UTRAN:n kokonaistehosta, eli mitä suurempi RSRQ:n arvo on, sitä parempi yhteyden laatu. RSRQ:n arvo ilmoitetaan yksikössä dB. Päätelaite raportoi RSRQ:n tukiasemalle. RSRQ:n arvo voi vaihdella välillä -3 ... <-19,5 dB. Mikäli päätelaite tukee jatkettua RSRQ:n skaalaa, on raportoidun arvon yläraja 2,5 dB ja alaraja -34 dB, kuten taulukko 4 osoittaa. Päätelaite ei raportoi RSQN:n arvoa suoraan, vaan lähettää taulukon vasemmassa sarakkeessa olevan raportointiarvon. (La Rocca, M. 2015, Share Technote 2015, LTE-Anbieter 2015)

Taulukko 4. RSRQ:n raportointiarvot (3GPP TS 36.133).

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRQ_-30	RSRQ < -34	dB
RSRQ_-29	-34 ≤ RSRQ < -33.5	dB
...
RSRQ_-02	-20.5 ≤ RSRQ < -20	dB
RSRQ_-01	-20 ≤ RSRQ < -19.5	dB
RSRQ_00	RSRQ < -19.5	dB
RSRQ_01	-19.5 ≤ RSRQ < -19	dB
RSRQ_02	-19 ≤ RSRQ < -18.5	dB
...
RSRQ_32	-4 ≤ RSRQ < -3.5	dB
RSRQ_33	-3.5 ≤ RSRQ < -3	dB
RSRQ_34	-3 ≤ RSRQ	dB
RSRQ_35	-3 ≤ RSRQ < -2.5	dB
RSRQ_36	-2.5 ≤ RSRQ < -2	dB
...
RSRQ_45	2 ≤ RSRQ < 2.5	dB
RSRQ_46	2.5 ≤ RSRQ	dB

LTE-Anbieter–sivusto arvioi yhteyden RSRQ:n vaikutusta yhteyden laatuun taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5. RSRQ:n arviointi (LTE-Anbieter 2015).

RSRQ	Arvosana	Kommentti
-3 dB	1 (erittäin hyvä)	Optimaalinen yhteyden laatu, ei häiriöiden vaikutusta.
-4...-5 dB	2 (hyvä)	Häiriöitä esiintyy, ei vaikutusta yhteyteen.
-6...-8 dB	3 (tyytyttävä)	Häiriöitä esiintyy, lievä vaikutus yhteyteen.
-9...-11 dB	4 (riittävä)	Häiriöitä esiintyy, huomattava vaikutus yhteyteen.
-12...-15 dB	5 (heikko)	Vahvoja häiriöitä, yhteys hyvin epävakaa
-16...-20 dB	6 (riittämätön)	Erittäin voimakkaita häiriöitä, yhteys ei ole mahdollinen.

4.6 Signal to Interference and Noise Ratio, SINR

Signaalin tehon suhde häiriöiden ja kohinan tehoon ilmoitetaan SINR-arvona. Vaikka SINR ei ole 3GPP:n LTE-standardeihin määritetty suure, ja päätelaite ei raportoi tukiasemalle SINR-arvoa, käytetään sitä yleisesti osoittamaan yhteyden laatua. Päätelaitteet käyttävät SINR-arvoa CQI:n, eli Channel Quality Indicator – arvon laskemiseen, joka taas raportoidaan tukiasemalle.

Koska SINR ei ole osa LTE-standardia, on sen mittauksessa ja laskentatavassa eroja eri päätelaitteiden kesken. Larocca Solutions –sivuston artikkeli määrittelee SINR:n laskentakaavan seuraavasti:

$$SINR = \frac{S}{I + N}$$

(La Rocca 2015)

jossa:

- S on käytetyn signaalin mitattu teho, useimmiten mitattuna referenssisignaalista ja PDSCH-kanavasta.
- I on häiriöiden tehon keskiarvo.
- N on taustakohina, jonka teho riippuu mitatun kaistan leveydestä ja laitteen kohinaluvusta.
- Kaikki yhtälön tekijät ovat mitattu samalta kaistanleveydeltä ja ovat normalisoitu yhden alikantoaallon 15 kHz:n kaistanleveydelle (La Rocca 2015)

Mitattu SINR-arvo voi vaihdella välillä +40...-12 dB. LTE-Anbieter-sivusto arvioi SINR:n vaikutusta yhteyden laatuun taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. SINR:n arviointi (LTE-Anbieter 2015).

SINR	Arvosana	Kommentti
+40...+20 dB	1 (erittäin hyvä)	Täydelliset olosuhteet, lähes häiriövapaa
+19...+10 dB	2 (hyvä)	Hyvä vakaa signaali, vähän häiriötä
+9...+5 dB	3 (tyydyttävä)	Käyttökelpoinen yhteys, vähäinen signaalin laadun heikkeneminen
+4...0 dB	4 (riittävä)	Riittävä signaali, siedettävä häiriöiden taso, yhteysongelmat mahdollisia
-1...-5 dB	5 (heikko)	Häiriöt ja kohina voimakkaampia kuin signaali, yhteys epävaka ja yhteyden muodostaminen vaikeaa
-6...-12 dB	6 (riittämätön)	Signaali enimmäkseen häiriötä, datayhteyden muodostaminen mahdotonta

5 KEINOJA DATANOPEUDEN PARANTAMISEKSI

5.1 Taajuusalueen valinta

Yhteyttä muodostaessaan päätelaite valitsee tukiaseman RSRP:n ja RSRQ:n arvon perusteella. (3GPP TS 36.304) Päätelaite ei siis valitse tukiasemaa ja solua nopeimman datayhteyden perusteella, vaan signaalin voimakkuuden perusteella. Mikäli ollaan alueella jossa on käytettävissä 800 MHz:n verkko ja 1800 MHz:n verkko, niin 800 MHz:n verkon signaali on todennäköisesti voimakkaampi, sillä taajuudeltaan matalampana sen signaali vaimenee vähemmän kuin 1800 MHz:n signaali. Tällöin päätelaite liittyy 800 MHz:n verkkoon. Lisäksi 800 MHz:n kaista on ruuhkaisempi, sillä alueen muutkin päätelaitteet käyttävät todennäköisesti sitä.

Helppo tapa lisätä nopeutta on asettaa päätelaite LTEWatch -ohjelmalla käyttämään 1800 MHz:n verkkoa 800 MHz:n verkon sijaan, sillä 1800 MHz:n verkossa on käytössä 20 MHz:n kaistanleveys, jolloin käytettäviä resurssilohkoja on 100, kun taas 800 MHz:n verkon kaistanleveys on vain 10 MHz:ä, jolloin käytettävissä on 50 resurssilohkoa.

Mikäli päätelaitetta ei pysty asetuksista asettamaan toimimaan 1800 MHz:n verkossa, voi 1800 MHz:n signaalitasoa yrittää nostaa 800 MHz:n signaalia voimakkaammaksi käyttämällä antennia, joka vahvistaa vain 1800 MHz:n kaistaa.

5.2 Channel Quality Indicator –luvun nostaminen

Päätelaite raportoii tukiasemalle arvioidusta radioyhteyden laadusta lähettämällä tukiasemalle säännöllisesti CQI-luvun, jolla päätelaite ehdottaa tukiasemalle sitä symbolien modulaatiomenetelmää ja koodaussuhdetta, millä siirtolohkovirheiden määrä ei ylitä 10 %:a kyseisellä yhteydenlaadulla. Modulaatiomenetelmä ja koodaussuhde CQI-luvun perusteella määräytyvät taulukon 7 mukaisesti. (Rohde & Schwartz 2012, 43)

Taulukko 7. CQI-luku, modulaatiomenetelmä ja koodaussuhde (3GPP TS 36.213).

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

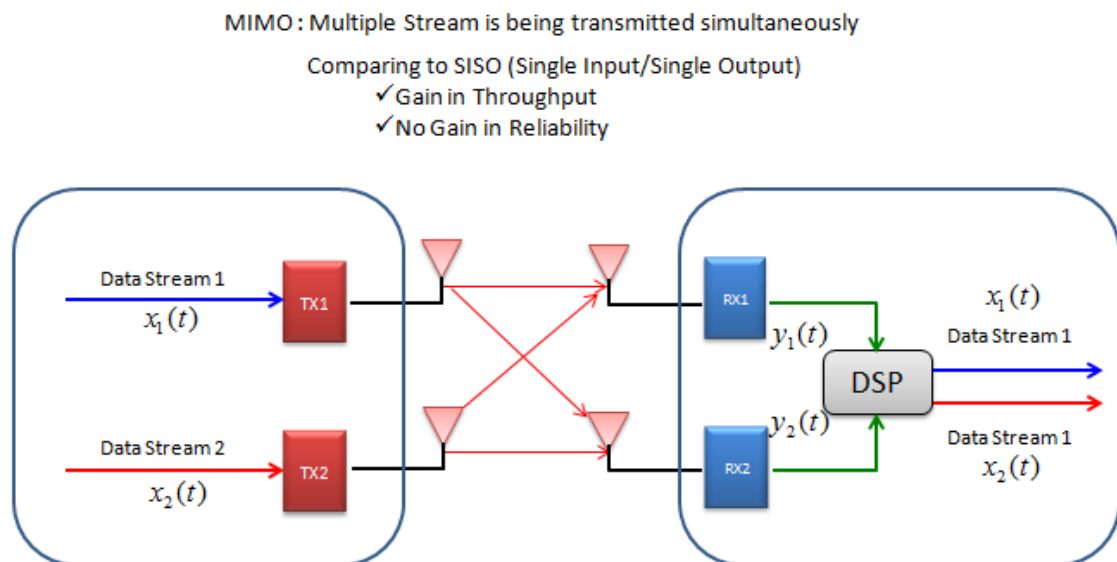
Suuremmalla modulaatiolla voidaan lähettää enemmän bittejä symbolissa. QPSK-modulaatiolla symbolissa on kaksi bittiä, 16QAM-modulaatiolla 4 bittiä ja 64QAM-modulaatiolla 6 bittiä.

Koodaussuhde kertoo, miten paljon alikehykseen on allokoitu dataa suhteessa maksimidatamäärään, joka teoriassa mahtuisi alikehykseen. (Share Technote 2015)

CQI-luvun mittaamiselle ei ole 3GPP:n standardoimaa tapaa. Tärkeitä CQI-lukuun vaikuttavia tekijöitä ovat signaali-kohinasuhde, SINR ja päätelaitteen signaalinprosessointikyky. CQI-lukua voi koittaa nostaa asentamalla päätelaite tai antenni paikkaan, josta saadaan mitattua hyvä SINR.

5.3 Multiple Input Multiple Output eli MIMO ja spatiaalinen multipleksaus

Käyttämällä kahta antennia lähettäessä ja vastaanottaessa, voidaan hyödyntää spatiaalista multipleksausta, jossa tukiasema lähettää kahdella antennilla kaksi eri datavirtaa. Lähetykset koodataan esikoodausmatriisilla. Vastaanottava päätelaite ottaa molemmilla antennillaan vastaan molemmat lähetykset. Päätelaitteen digitaalinen signaaliprosessori kokoaa takaisin kaksi erillistä datavirtaa koodausmatriisin avulla. MIMO:n ja spatiaalisen multipleksauksen periaatetta selventää kuva 9 (Rohde & Schwartz 2012, 40).



Kuva 9. MIMO ja spatiaalinen multipleksaus (Share Technote 2015).

Kahta datavirtaa hyödyntävä MIMO teoriassa tuplaa datansiirtonopeuden verrattuna yhteen datavirtaan.

Jotta MIMO:a voidaan hyödyntää, täytyy radioyhteyden laadun olla riittävä. Päätelaite raportoi tukiasemalle yhteyden laadusta, ja näiden raporttien perusteella tukiasema valitsee lähetystavan. Lähetystavat (Transmission Mode, TM,) on lisätty taulukkoon 8. Lähetystavat 3 ja 4 hyödyntävät kahden datavirran spatiaalista

multipleksausta. Lähetystavassa 4 päätelaite raportoii tukiasemalle MIMO-yhteyden laadusta, jolloin tukiasema valitsee aina parhaimman koodimatriisin kyseisiin olosuhteisiin. Lähetystavassa 3 tukiasema valitsee koodausmatriisin ilman päätelaitteen raportteja. (Rohde & Schwartz 2012, 39)

Taulukko 8. Lähetystavat (Rohde & Schwartz 2012, 39).

Transmission Mode	Description
TM1	Single Antenna transmission (SISO)
TM2	Transmit Diversity
TM3	Open-loop spatial multiplexing, no UE feedback (PMI) on MIMO transmission provided
TM4	Closed-loop spatial multiplexing, UE provides feedback on MIMO transmission
TM5	Multi-user MIMO (more than one UE is assigned to the same resource block)
TM6	Closed-loop precoding for rank=1 (i.e. no spatial multiplexing, but precoding is used)
TM7	Single-layer beamforming (mandatory TD-LTE, optional LTE FDD)

6 LAITTEIDEN JA ANTENNIEN TESTAUS JA VERTAILU 800 MHZ:N TAAJUUSALUEELLA

6.1 Testattavat laitteet ja antennit

Ensimmäisellä testaus- ja vertailukerralla 23.8.2015 oli tarkoitus testata eri antennimallien lisäksi myös eri LTE-modeemeja. Testattavaksi valittiin kolme mo-deemimallia: Huawei B593s, Huawei B315s-22 ja D-Link DWR-921.

Huawei B593s valittiin siksi, että se on hyvin yleinen malli, jota operaattorit myy-vät asiakkailleen mobiililiittymien ohella. B315s-22 on Huaweiin uudempi malli, joka on yhteensopiva LTEWatch–ohjelman kanssa ja on hankintahinnaltaan B593s:ää edullisempi. DWR-921 valittiin testeihin mukaan vertailumalliksi, sillä se oli aikaisemmin kuulunut myyntivalikoimaan.

Testattaviksi antennimalleiksi valittiin seuraavat antennit:

- Dipol ATK-LOG LTE, suuntaava logperiodinen ristipolarisaatioantenni
- Dipol ATK-LOG ALP LTE, kahden suuntaavan logperiodisen antennin sarja
- Panorama Antennas WMM8G-7-27, ristipolarisaatiopaneeliantenni, ympärisäteilevän ja suuntaavan antennin hybridi.

Antennien datalehdet löytyvät liitteinä 1 – 3.

6.2 Testauspaikka ja olosuhteet

Testauspaikkana toimi kesämökki Naantalin Rymättylässä, osoitteessa Kantolantie 188. Testauspaikka rajoittui lännessä ja lounaassa suojaisaan merenlahteen, kun taas pohjoisen, idän ja etelän suunnassa mökkiä suojasi nouseva metsäinen kallio, jonka painanteessa mökki sijaitsi.

Testattavat antennit asennettiin mökin kaakkoispäättyyn tilapäisesti asennettuun mastoputkeen. Antennit suunnattiin Dycon D2377 –mittarin avulla vahvimman Soneran 800 MHz:n LTE-signaalin mukaan lännen ja lounaan väliseen suuntaan.

Sää oli mittauspäivänä aurinkoinen, lämpötilan noustessa n. 25 °C:een. Kuvassa 10 on yleiskuva testauspaikasta.



Kuva 10. Rymättylän testauspaikka ja antennin asennuspiste.

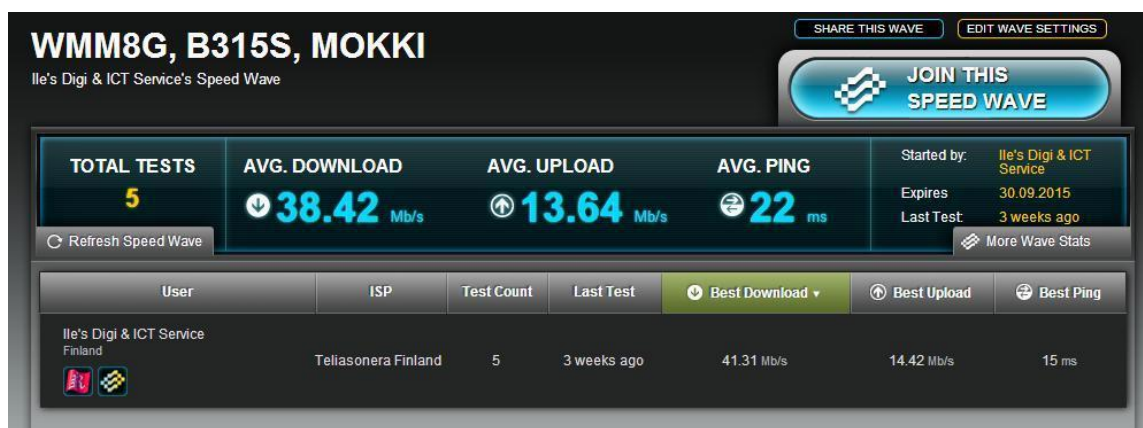
6.3 Laitteiden ja antennien testausmenetelmä

Testauksissa käytettiin Soneran 4G-liittymää, jonka latausnopeutta ei ole rajattu. Testattavat antennit suunnattiin ennen nopeusmittausta vahvimman Soneran 800 MHz:n LTE-signaalin suuntaan. Dycon D2377 –mittari tunnistaa lähettävän

tukiaseman solun Cell ID –tunnuksen, joten voitiin varmistaa, että kaikilla antennilla voimakas signaali tuli samasta solusta.

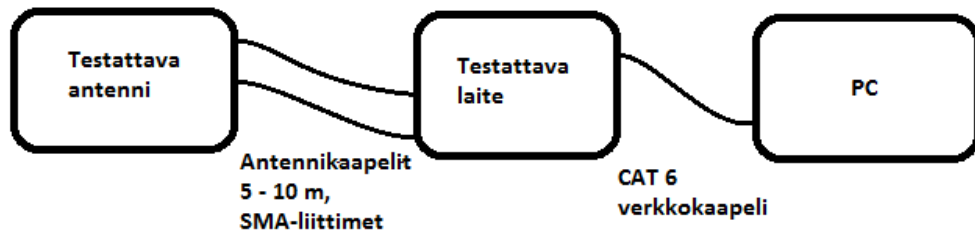
Download- ja upload-nopeus sekä ping-viive mitattiin speedtest.net-sivuston testillä. Testi toistettiin viisi kertaa, ja tulosten keskiarvo tallentui testattavan laitteen ja antennin mukaan nimettyyn speed wave –mittaussarjaan. Kuvassa 11 on merkki speed wave –mittaussarjan tuloksista. Testejä ei toteutettu vakiopalvelimella, vaan palvelin vaihtui automaattisesti aina parhaimman ping-viiveen mukaan.

Kun mittaus oli suoritettu yhdellä laitteella, liitettiin antenni seuraavaan laitteeseen, SIM-kortti asennettiin paikoilleen ja yhteyden muodostuttua mittaus suoritettiin uudestaan.



Kuva 11. Speed wave -mittaussarjan esimerkkitulo, antenni WMM8G, modeemi Huawei B315s.

Lisäksi Huawei B315s –modeemista mitattiin LTEWatch-ohjelman avulla RSRP-, RSSI-, RSRQ- ja SINR-lukujen keskiarvot speedtest–mittausten aikana. LTEWatch–ohjelma käynnistettiin juuri ennen speedtest–mittauksen aloittamista ja mittauksen jälkeen LTEWatch-ohjelman näytöstä otettiin kuvakaappaus, jolloin kuvakaappauksesta saatiin mittauksen aikana kertynyt keskiarvo edellä mainituille luvuille. Kuvassa 12 on esitelty käytetty mittauskytkentä.



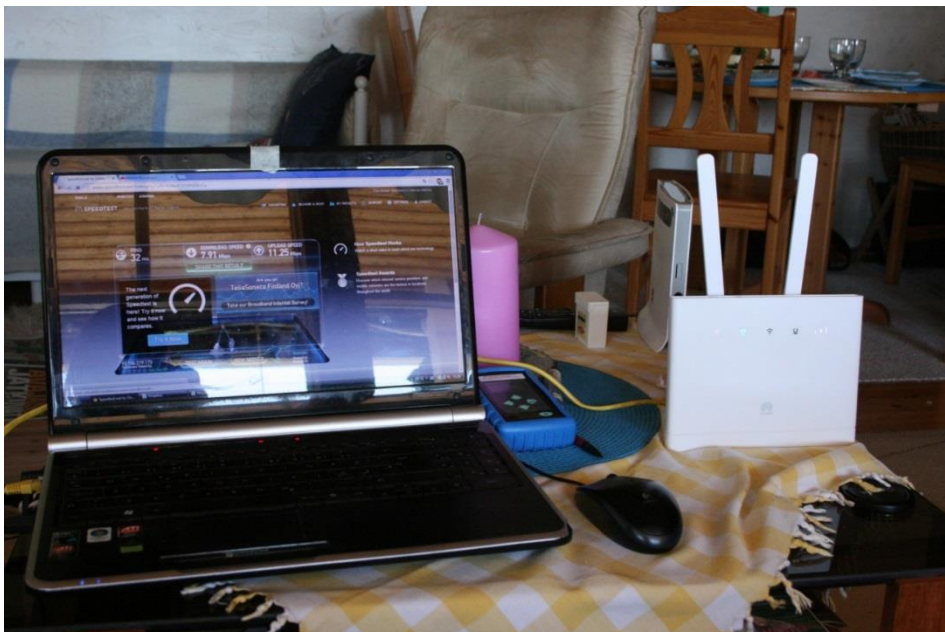
Kuva 12. Mittauskytkentä 23.8.2015

6.4 Modeemien vakioantennien testaus

Ennen ulosasennettävien antennien testaamista mitattiin vertailuarvoksi laitteiden mukana tulevien vakioantennien antamat nopeudet.

Huawei B593s:n mukana tulee sisäisten antennien lisäksi kaksi ulkoista ”jäniksenkorva”-antennia. Näitä antennia testattiin myös Huawei B315s -laitteella. D-Link DWR-921:ssä ei ole sisäisiä antennia, vaan laitteen mukana tulee kaksi ulkoista antennia.

Vakioantennien suorituskykyä testattiin mökin sisällä, mökin päähuoneen keskellä olevalla pöydällä, josta on otettu kuva 13.



Kuva 13. Modeemien vakioantennien testaus.

6.5 Antennien asennus

Dipol ATK-LOG LTE –antenni ja Panorama Antennas WMM8G-7-27 –paneeli-antenni asennettiin kuvan 14 mukaisesti.



Kuva 14. ATK-LOG LTE:n ja WMM8G-7-27:n asennus.

Dipol ATK-LOG ALP LTE:n antennilla testattiin antennien asentamista 45°:n kulmiin. Ensinnäkin molemmat antennit asennettiin samaan mastoon ja sitten erillisiin paikkoihin kuvan 15 mukaisesti.



Kuva 15. ATK-LOG ALP 45°:n kulmissa yhdessä ja erikseen.

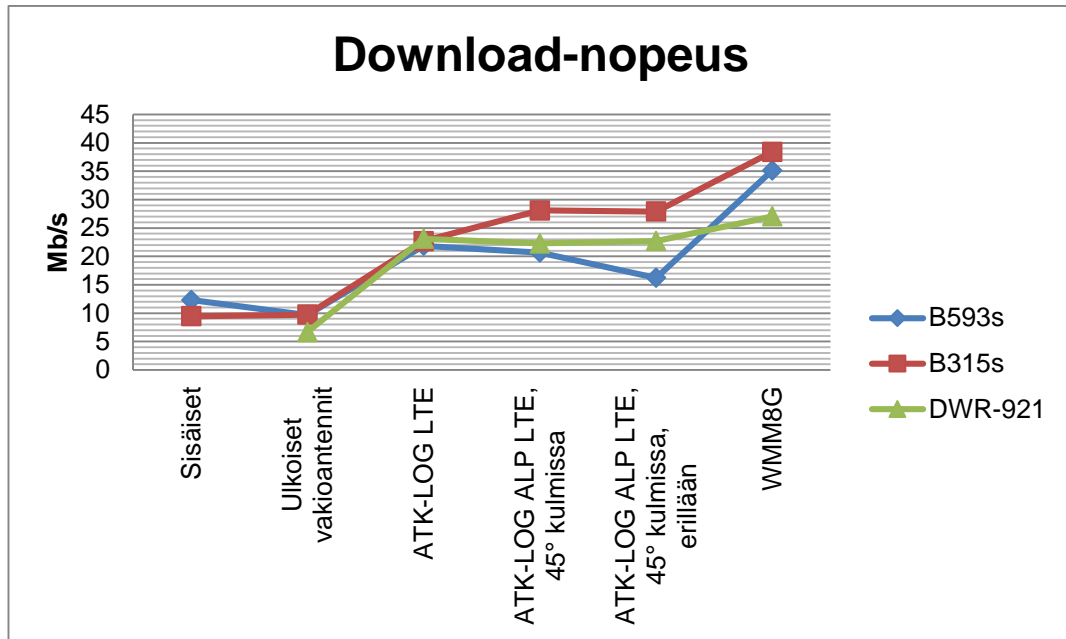
6.6 Speedtest-mittaustulokset

Speedtest-mittauksilla saadut tulokset taulukoitiin, ja taulukoiden pohjalta laadittiin havainnollistavat käyrät antennien ja laitteiden eroista latausnopeuksissa. Viiveissä ei ollut havaittavaa eroa, kuten taulukon 9 Ping-sarakkeesta voidaan havaita.

Taulukko 9. Speedtest-mittausten tulokset 23.8.2015.

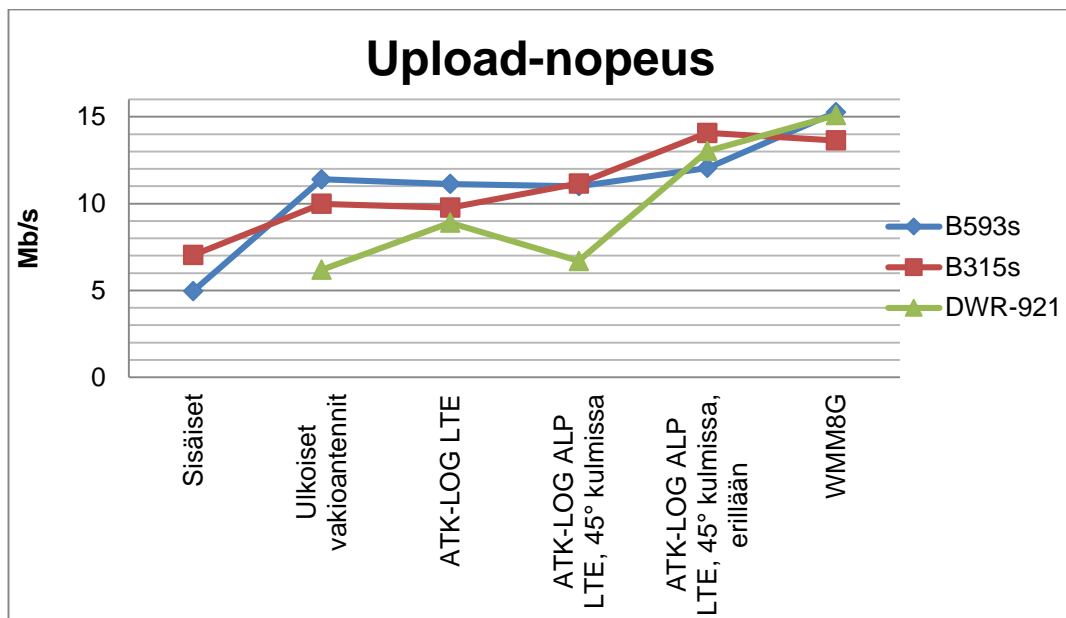
Antenni:	DL-nopeudet (Mb/s) Viiden speedtest-mittauksen ka.			UL-nopeudet (Mb/s) Viiden speedtest-mittauksen ka.			Ping (ms) Viiden speedtest-mittauksen ka.		
	B593s	B315s	DWR-921	B593s	B315s	DWR-921	B593s	B315s	DWR-921
Sisäiset	12,31	9,45		4,96	7,04		20	20	
Ulkoiset vakioantennit	9,7	9,74	6,66	11,4	9,99	6,19	20	29	19
ATK-LOG LTE	21,88	22,67	23,12	11,13	9,77	8,9	18	16	21
ATK-LOG ALP LTE, 45° kulmissa	20,67	28,09	22,28	11	11,16	6,7	19	18	19
ATK-LOG ALP LTE, 45°:n kulmissa, erillään	16,23	27,9	22,71	12,05	14,07	13,03	20	19	19
WMM8G	35,14	38,42	27,05	15,26	13,64	15,09	19	22	21

Taulukon 9 DL-nopeudet -sarakkeesta saadaan muodostettua kuvio 3, josta nähdään selkeä ero eri antennimallien välillä, mutta josta havaitsee myös laitteiden väliset erot latausnopeuksissa. Silmäänpistävä ilmiö on B593s-modeemin latausnopeuden romahdus ATK-LOG ALP LTE -mallin kohdalla, mikä ei noudata kuvion yleistä trendiä.



Kuvio 3. Download-nopeus eri antennimalleilla ja laitteilla 23.8.2015.

UL-nopeudet sarakkeesta voidaan muodostaa kuvio 4. Kuvio 4 voidaan havaita, että ulkoisten antennien käytöllä voidaan moninkertaistaa upload-nopeus verrattuna laitteen sisäisiin antenneihin.



Kuvio 4. Upload-nopeus eri antennimalleilla ja laitteilla 23.8.2015.

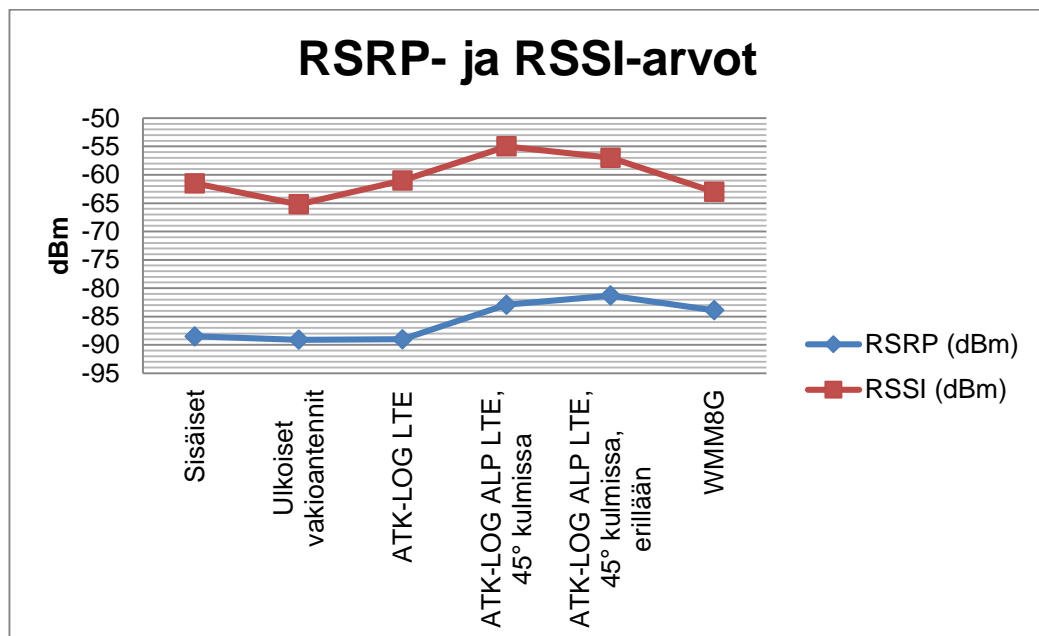
6.7 LTEWatch-mittaustulokset

Huawei B315s –modeemista LTEWatch:illa mitatuista arvoista saatiin taulukon 10 mukaiset tulokset.

Taulukko 10. LTEWatch-ohjelmalla mitatut arvot 23.8.2015

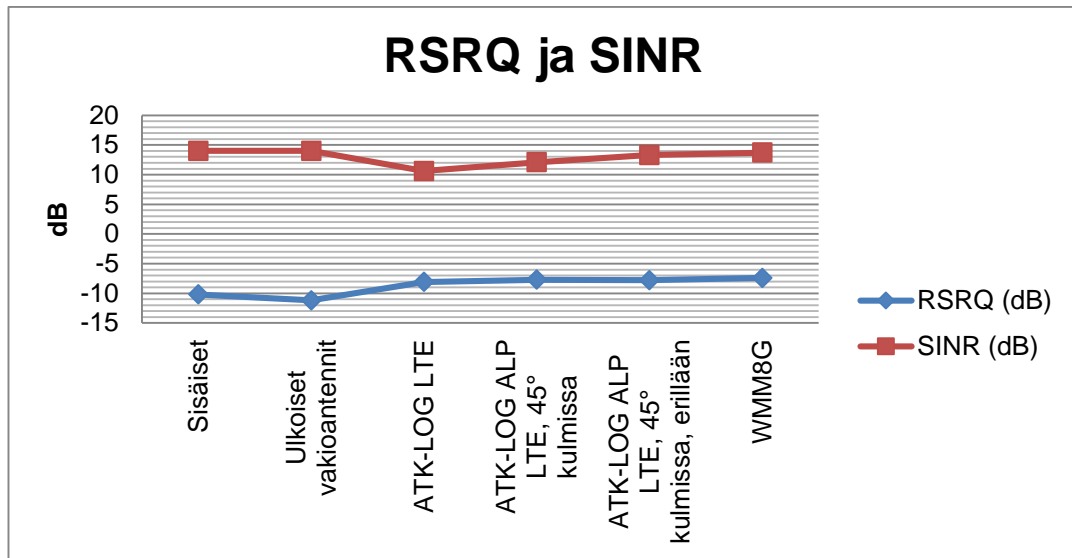
Antenni:	Speedtest –mittauksen aikana LTEWatch -ohjelman ilmoittamat keskiarvot B315 -laitteesta			
	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Sisäiset	-88,5	-61,5	-10,2	14
Ulkoiset vakioantennit	-89,1	-65,2	-11,2	14
ATK-LOG LTE	-89	-61	-8,1	10,6
ATK-LOG ALP LTE, 45°:n kulmissa	-82,9	-55	-7,7	12,1
ATK-LOG ALP LTE, 45°:n kulmissa, erillään	-81,3	-57	-7,8	13,3
WMM8G	-83,9	-63	-7,4	13,7

Taulukon 10. RSRP- ja RSSI-sarakkeista saadaan muodostettua kuvio 5. RSRP- ja RSSI-arvoille.



Kuvio 5. RSRP- ja RSSI-keskiarvot Huawei B315s -modeemista 23.8.2015.

RSRQ- ja SINR-sarakkeista saadaan kuvio 6.



Kuvio 6. RSRQ- ja SINR-keskiarvot B315s-modeemista 23.8.2015.

6.8 Päätelmiä ja johtopäätöksiä

Kuviosta 3 nähdään, että parhaimmat latausnopeudet saatiin Huaweiin B315 -modeemilla. B315 oli myös hankintahinnaltaan edullisempi kuin Huaweiin B593s. Lisäksi B315 on yhteensopiva LTEWatch-ohjelman kanssa, joka on tärkeää, sillä LTEWatchin avulla parhaimman asennuspaikan valinta ja lisäantennin suuntaaminen helpottuu ja nopeutuu huomattavasti.

Sisäisillä antennilla ja laitteiden vakioantenneilla testatessa latausnopeudet jäivät vaatimattomiksi, vaikka B315-laitteella mitattiinkin hyvä SINR keskiarvo 14 dB:ä, niin sisäisillä antennilla kuin ulkoisilla vakioantenneillakin. Hidas yhteys selittyy heikolla RSRP:llä, jolloin RSRQ jäi myös pieneksi.

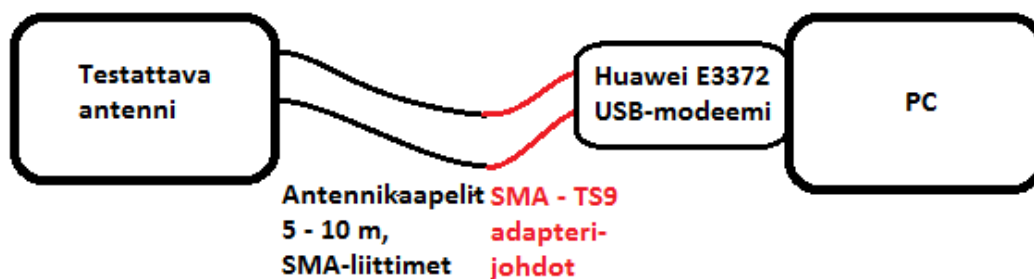
Lisäantenneilla nopein latausnopeus saatiin WMM8G-ristipolarisaatiopaneeli-antennilla. Selittävänä tekijänä on todennäköisesti pienin ulkoisilla antennilla mitattu RSSI-keskiarvo -63 dBm, ja täten paras ulkoisilla antennilla saavutettu SINR-keskiarvo 13,7 dB.

7 ANTENNIEN TESTAUS JA VERTAILU 800 MHZ:N JA 1800 MHZ:N TAAJUUSALUEELLA

7.1 Testaus- ja mittaussuunnitelma

Viimeiset mittaukset suoritettiin 6.10.2015. Ensimmäisen mittauskerran ja viimeisen mittauskerran välillä suoritettiin useita muita mittauksia, joista saaduilla kokemuksilla mittaussuunnitelmaa kehitettiin. Viimeisellä mittauskerralla käytettiin latausnopeudeltaan rajoittamatonta DNA:n 4G-liittymää. Testauslaitteena toimi Huawei E3372 USB-modeemi. Ennen lisäantennien mittauksia suoritettiin vertailuksi mittaus laitteen sisäisillä antennilla 800 MHz:n ja 1800 MHz:n verkoissa.

Antennit liitettiin USB-modeemin antenniliittimiin TS9-SMA –liitinadaptereilla. Sitten laite lukittiin toimimaan joko 800 MHz:n tai 1800 MHz:n verkossa. Antennit suunnattiin LTEWatch–ohjelmalla suuntaan josta saatiin vahvin RSRP:n arvo, kuitenkin niin, että kaikilla antennilla mitattaessa oltiin yhteydessä samaan soluun. Mittauskytkentää esittää kuva 16.



Kuva 16. Mittauskytkentä 6.10.2015

Download- ja upload-nopeus sekä ping-viive mitattiin taas speedtest.net-sivuston testillä. Testi toistettiin viisi kertaa ja tulosten keskiarvo tallentui testattavan laitteen ja antennin mukaan nimettyyn speed wave –mittaussarjaan. Tällä kertaa testit toteutettiin vakiopalvelimella. Vakiopalvelimena toimi se palvelin, jonka speedtest automaattisesti valitsi pienimmän ping-viiveen perusteella laitteen sisäisten antennien vertailumittausta tehdessä. Palvelimena toimi 1800 MHz:n

taajuusalueella mitattaessa Nebulan ylläpitämä Helsingissä sijaitseva palvelin ja 800 MHz:n verkkoa testattaessa palvelimena oli Elisa Oyj:n Helsingin palvelin.

LTEWatch-ohjelmalla mitattiin RSRP-, RSSI-, RSRQ- ja SINR-lukujen keskiarvot speedtest-mittausten aikana. Ohjelma käynnistettiin juuri ennen speedtest-mittauksen aloittamista ja mittauksen jälkeen LTEWatch-ohjelman näytöstä otettiin kuvakaappaus, jolloin kuvakaappauksesta saatiin mittausten aikana kertynyt keskiarvo edellä mainituille luvuille.

Kun antennia oli testattu yhdellä taajuusalueella, lukittiin modeemi toiselle taajuusalueelle ja antennin suuntaus ja testaus suoritettiin uudelleen edellä mainitulla tavalla.

7.2 Testattavat antennit

Aikaisempien mittausten perusteella viimeiseen mittaukseen valittiin seuraavat antennimallit:

- CSG REN 67027012X suuntaava ristipolarisaatiopaneeliantenni.
- Panorama Antennas WMM8G-7-27, ristipolarisaatiopaneeliantenni, ympärisäteilevän ja suuntaavan antennin hybridi.
- Dipol ATK-LOG LTE, suuntaava logperiodinen ristipolarisaatioantenni
- Dipol ATK-LOG ALP LTE, kahden suuntaavan logperiodisen antennin sarja
- Delta Opti ATK-P17/LTE, suuntaava ristipolarisaatioantenni, kaapeleina 5m Satec RF 5 jatkokaaapelit ja N-SMA-liitinsovittimet antennin N-naaras liittimiin.

Antennimallien ja kaapeleiden datalehdet löytyvät liitteinä 1 - 6.

7.3 Testauspaikka ja olosuhteet

Mittaukset toteutettiin Liedossa, Littoistenjärven rannalla sijaitsevan Järvelän lintutornin huipulla. Antennit asennettiin 3 m pitkän mastoputken päähän. Sää oli

mittauspäivänä kirkas ja poutainen ja lämpötila n. 5 °C. Kuvassa 17 esitetään mittausjärjestely ja antennin asennus.



Kuva 17. Mittaus Littoistenjärven lintutornissa. Kuvan antenni WMM8G.

REN 67027012X –paneeliantennia ja ATK-LOG ALP LTE –antenneja testattiin asentamalla antennielementit vuorollaan 90°:n ja 45°:n kulmiin, kuten kuvassa 18.



Kuva 18. ATK-LOG ALP LTE 90°:n ja 45°:n kulmissa.

7.4 Speedtest-mittaukset

Mitatessa antennien toimintaa DNA:n 1800 MHz:n LTE-verkossa saatiin speedtest -mittauksista taulukon 11 mukaiset tulokset. Tällä kertaa taulukoitiin myös kullakin antennilla saavutettu nopein download-latausnopeus keskiarvon lisäksi. Antennimalli-sarakkeessa oleva kulman asteluku tarkoittaa kulmaa, johon antennielementit olivat asennettu.

Taulukko 11. Speedtest-mittaukset DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

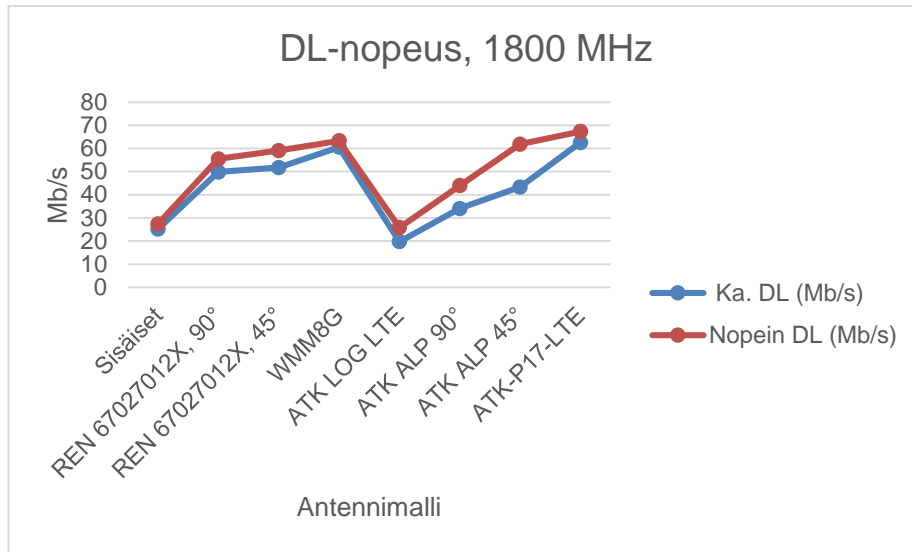
LTE-Mittaus				
Taajuusalue:	1800 MHz			
Operaattori:	DNA			
Cellid	8201			
Modeemi:	Huawei E3372			
Speedtest -palvelin	Nebula, Helsinki			
	Viiden speedtest -mittauksen keskiarvo vakioserveriltä			Nopein speedtest -tulos
Antennimalli	Ka. DL (Mb/s)	Ka. UL (Mb/s)	Ka. Ping (ms)	Nopein DL (Mb/s)
Sisäiset	25,18	21,47	41	27,38
REN 67027012X, 90°	49,83	24,81	41	55,48
REN 67027012X, 45°	51,75	22,82	42	59,07
WMM8G	60,57	24,92	50	63,29
ATK LOG LTE	19,75	21,75	41	25,81
ATK ALP 90°	34,03	21,44	52	43,94
ATK ALP 45°	43,32	22,41	53	61,83
ATK-P17-LTE	62,56	22,45	43	67,35

Mittauksista DNA:n 800 MHz LTE-verkossa saatiin taulukon 12 mukaiset tulokset.

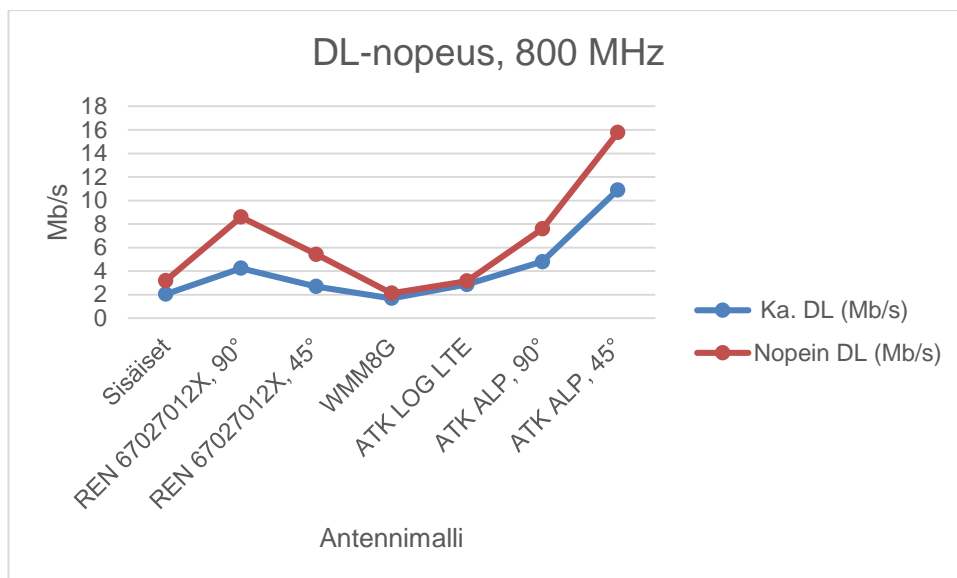
Taulukko 12. Speedtest-mittaukset DNA:n 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

LTE-mittaus				
Taajuusalue:	800 MHz			
Operaattori:	DNA			
Cellid	1140-14			
Modeemi:	Huawei E3372			
Speedtest -serveri:	Elisa Oyj, Hki			
	Viiden speedtest -mittauksen keskiarvo vakioserveriltä			Nopein speedtest tulos
Antennimalli	Ka. DL (Mb/s)	Ka. UL (Mb/s)	Ka. Ping (ms)	Nopein DL (Mb/s)
Sisäiset	2,05	8,05	29	3,18
REN 67027012X, 90°	4,24	9,79	27	8,6
REN 67027012X, 45°	2,69	9,13	29	5,43
WMM8G	1,69	7,24	29	2,13
ATK LOG LTE	2,87	10,97	25	3,16
ATK ALP, 90°	4,8	10,34	24	7,59
ATK ALP, 45°	10,9	11,01	29	15,78

Taulukoista 11 ja 12 saadaan muodostettua kuviot 7 ja 8, joista näkee antennimallien erot download-suunnan latausnopeuksissa 1800 MHz:n ja 800 MHz:n verkoissa.

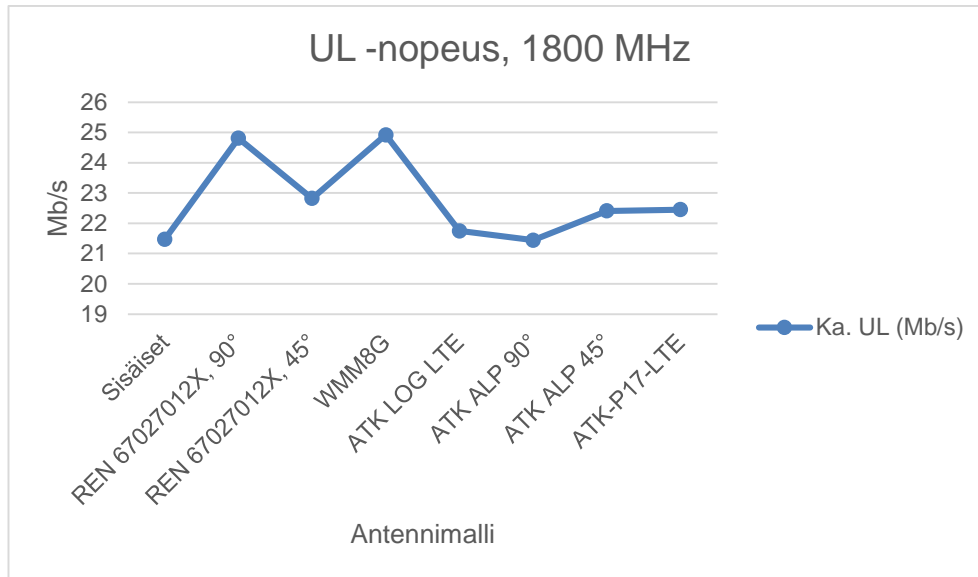


Kuvio 7. Download-latausnopeudet DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

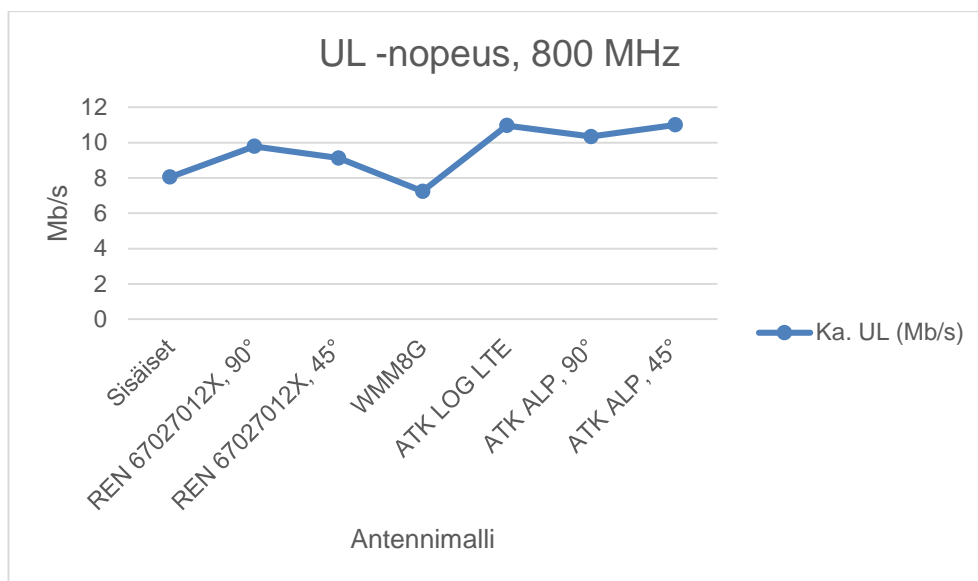


Kuvio 8. Download-latausnopeudet DNA:n 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

Taulukoiden 11 ja 12 upload-sarakkeista saadaan kuviot 7 ja 8.



Kuvio 9. Upload-nopeus DNA:n 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.



Kuvio 10. Upload-nopeus DNA:n 800 MHz:n verkossa 6.10.2015

7.5 LTEWatch-mittaustulokset

Speedtest-mittausten aikana LTEWatch-ohjelmalla mitattiin RSRP-, RSSI-, RSRQ- ja SINR-keskiarvo. Taulukossa 13 on mittaustulokset 1800 MHz:n verkosta ja taulukossa 14 800 MHz:n verkosta.

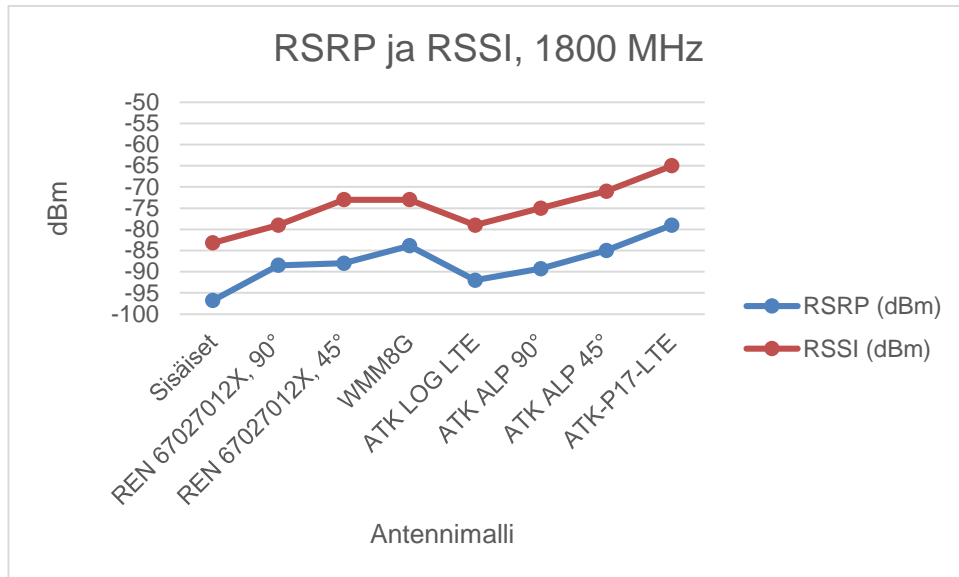
Taulukko 13. LTEWatch-mittaustulokset DNA:n 1800 MHz:n verkosta 6.10.2015.

1800 MHz Speedtest -mittausten aikana B315-laitteesta LTE-Watch -ohjelman ilmoittamat keskiarvot.				
Antennimalli	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Sisäiset	-96,8	-83,2	-5,5	1,3
REN 67027012X, 90°	-88,5	-79	-5,7	9,5
REN 67027012X, 45°	-88	-73	-5,8	10,2
WMM8G	-83,9	-73	-4,5	10,8
ATK LOG LTE	-92	-79	-7	7,7
ATK ALP 90°	-89,3	-75	-9	8,5
ATK ALP 45°	-85	-71	-6,9	11,1
ATK-P17-LTE	-79	-65	-10,1	13,7

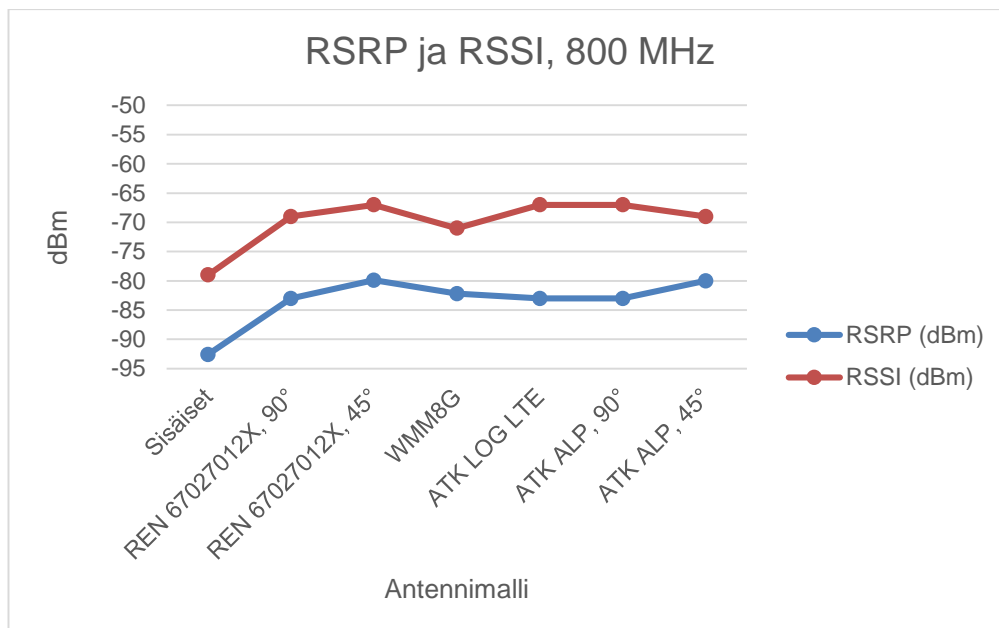
Taulukko 14. LTEWatch-mittaustulokset DNA:n 800 MHz:n verkosta 6.10.2015.

800 MHz Speedtest -mittausten aikana B315-laitteesta LTE-Watch -ohjelman ilmoittamat keskiarvot.				
Antennimalli	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Sisäiset	-92,6	-79	-7,5	5,7
REN 67027012X, 90°	-83	-69	-8,2	12,3
REN 67027012X, 45°	-79,9	-67	-6	11,7
WMM8G	-82,2	-71	-6,3	10,4
ATK LOG LTE	-83	-67	-6,5	10,8
ATK ALP, 90°	-83	-67	-9	11,5
ATK ALP, 45°	-80	-69	-5,7	11,7

Taulukoista saadaan muodostettua kuvat 11 ja 12 RSRP:lle ja RSSI:lle.

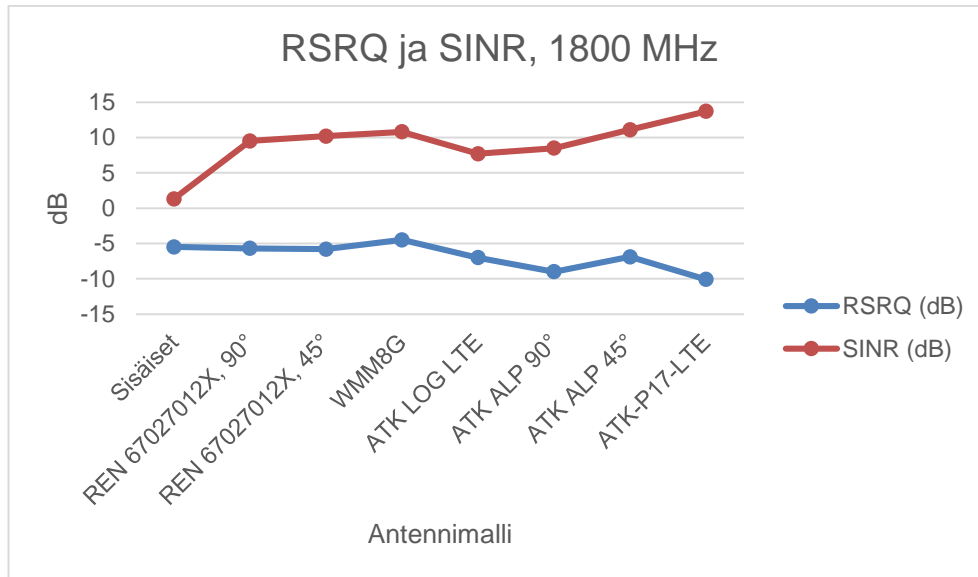


Kuvio 11. RSRP- ja RSSI-keskiarvo 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

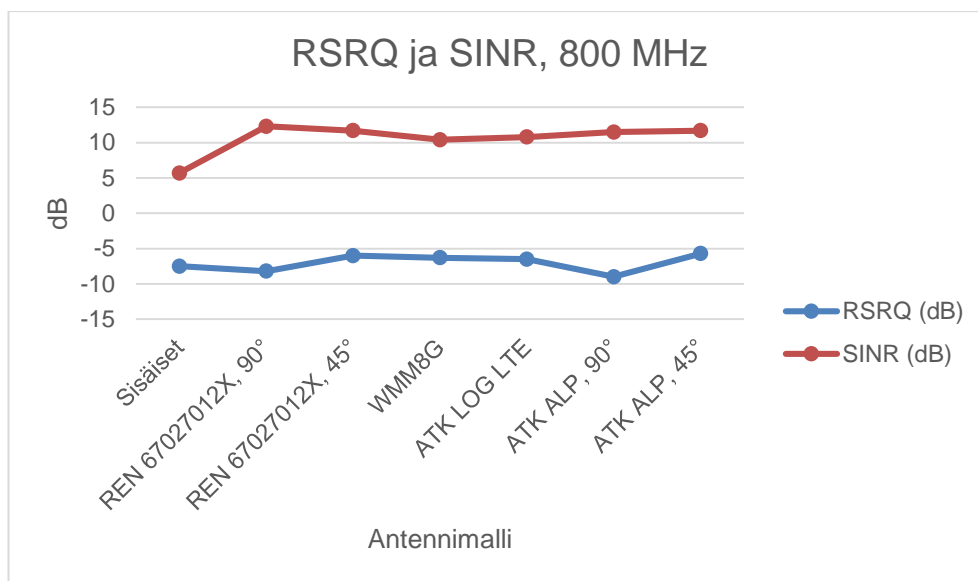


Kuvio 12. RSRP- ja RSSI-keskiarvo 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

Kuviot 13 ja 14 näyttävät RSRQ- ja SINR-keskiarvot.



Kuvio 13. RSRQ- ja SINR-keskiarvo 1800 MHz:n verkossa 6.10.2015.



Kuvio 14. RSRQ- ja SINR-keskiarvo 800 MHz:n verkossa 6.10.2015.

7.6 Havainnot 1800 MHz:n verkon mittauksista

Mittaustuloksista voidaan havaita, että downlink-latausnopeuden keskiarvonkäyrä kuviossa 7 on samanmuotoinen kuin RSRP-keskiarvon käyrä kuviossa 11. Nopeimman mitatun downlink-latausnopeuden käyrä kuviossa 7 noudattaa kuvion 13 SINR-keskiarvon käyrää. Kuvion 13 RSRQ-keskiarvon käyrä ei nouse

yhtämuotoisesti latausnopeuden kasvaessa. Edellä mainituista havainnoista voidaan päätellä, että antenni tulee suunnata parhaimman RSRP- ja SINR-arvon mukaan datanopeuksien maksimoimiseksi, mutta RSRQ:n arvoon ei kannata kiinnittää liikaa huomiota antennia suunnatessa.

Suurimmat latausnopeudet saatiin ATK-P17-LTE –mallilla johtuen antennin suudesta 16 - 17 dBi:n vahvistuksesta, jonka avulla RSRP-keskiarvo nousi -80 dBm:n tasolle. Lähes yhtä hyviin latausnopeuksiin ylsi WMM8G, jolla saavutettiin paras RSRQ-keskiarvo.

Myös ATK ALP pärjasi hyvin 45°:n kulmaan asennettuna, mutta latausnopeuden keskiarvo ei ollut yhtä hyvä. Tämä saattaisi selittyä hetkellisellä ruuhkalla yhteydessä speedtest-mittausten aikana, sillä SINR- ja RSRP-keskiarvot ovat 45°:n kulmaan asennetulla ATK ALP –antennilla hyvällä tasolla.

7.7 Havainnot 800 MHz:n verkon mittauksista

Suurimmat RSRP-keskiarvot saatiin 45°:n kulmaan asennetuilla antennilla. Latausnopeutta kuvaavat käyrät kuviossa 8 noudattavat kuvion SINR-keskiarvon käyrän muotoa, paitsi 45°:n ATK ALP-antennin kohdalla, jossa latausnopeuden nousu selittyy verkon ruuhkan vähentymisellä.

Tällä kertaa ATK ALP -antennisarja pärjasi 800 MHz:n taajuudella paremmin kuin WMM8G, joten WMM8G:n julistaminen ATK ALP -mallia paremmaksi ensimmäisen mittauskerran perusteella oli ennen aikaista. Tämä osoittaa, että ei ole yksiselitteisesti parasta antennimallia, vaan eri antennimallit sopivat eri olosuhteisiin.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön ensimmäiseksi tavoitteeksi asetettiin LTE-tekniikkaan perehtyminen, jotta tunnettaisiin datanopeuteen vaikuttavat tekijät. Työssä esiteltiin lyhyesti LTE:n liityntäverkon, eli E-UTRAN-verkon arkkitehtuuria ja radiokanavan lähestekniikkaa downlink-suunnassa. LTE:ssä hyödynnetään orthogonal frequency division multiplex –modulaatioon perustuvaa orthogonal frequency division multiple access –tekniikkaa, joka mahdollistaa radiokanavan resurssien jaon käyttäjien kesken aika- ja taajuustasossa.

Työn aikana testattiin ja mitattiin useiden antennien ja 4G-modeemien toimintaa. Mittauksissa käytettiin LTEWatch-ohjelmaa ja speedtest.net-sivuston datanopeustestiä. LTEWatch-ohjelma näyttää päätelaitteen mitaamat signaalin voimakkuutta ja laatua kuvaavat luvut, kuten tukiaseman lähettämän referenssisignaalin tehon ja signaalin tehon suhteen häiriöihin ja kohinaan.

Tärkeitä datanopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat vastaanotetun LTE-signaali voimakkuus ja laatu, koska paremmalla signaalilla voidaan käyttää tehokkaampaa modulaatiota ja virheenkorjauskoodia. Lisäksi datanopeutta voi nostaa käyttämällä laajakaistaisempaa taajuusaluetta sekä hyödyntämällä usean antennin MIMO-tekniikkaa.

Toiseen tavoitteeseen eli sopivimpien antennien ja laitteiden löytämiseen myyntivalikoimaan päästiin osittain. Testeissä hyväksi laitteeksi osoittautui Huawei B315. Käytännön testauksissa ja mittauksissa eri antennimalleista paljastui paljon valintaan vaikuttavia tekijöitä. Yksiselitteisesti parasta antennimallia ei löydetty, mutta mittaustulosten ja muiden, tässä työssä esittelemättömien testausten ja käytännön kokemusten perusteella osattiin karsia joitain antennimalleja pois.

Työn aikana nousi tarve jatkotestauksille, kuten kahdella erillisellä antennilla tehtävät mittaukset, joissa antennielementit asennetaan eri paikkoihin ja eri kulmiin spatiaalisen multipleksauksen vaikutuksen testaamiseksi.

LÄHTEET

3GPP TR 25.892. Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement (Release 6).

3GPP TS 36.101. User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release8)

3GPP TS 36.133. Requirements for support of radio resource management (Release 12)

3GPP TS 36.211. Physical Channels and Modulation (Release 8)

3GPP TS 36.213. Physical Layer Procedures (Release 12)

3GPP TS 36.304. User Equipment (UE) procedures in idle mode (Release 12)

Wikipedia 2015. ADSL2+. Viitattu 26.7.2015. <https://fi.wikipedia.org/wiki/ADSL2%2B>

Baha, A. 2013. LTE – Simplify the Migration to 4G Networks -diaesitys. Viitattu 10.8.2015 <http://www.slideshare.net/amiralibaha/lte1>

Dhagle, S. LTE Resource Grid. Viitattu 24.10.2015. <http://dhagle.in/> > LTE Resource Grid

European Communications Office. EFIS: ECO Frequency Information Systems. Viitattu 29.11.2015 <http://www.efis.dk/>

Halonen, A; Rauhala, H & Suomi H. 2014. Kasvua digitalisaatiosta –raportti. Viitattu 6.8.2015. www.dna.fi > DNA Oy > Media > Tutkimukset ja myyntitilastot > Asiantuntijaselvitys: Kasvua digitalisaatiosta.

La Rocca, M. 2015. RSRP and RSRQ Measurement in LTE. Viitattu 25.10.2015 <http://laroccasolutions.com/training/78-rsrp-and-rsrq-measurement-in-lte>

La Rocca, M. 2015. RSRQ to SINR. Viitattu 1.11.2015 <http://laroccasolutions.com/training/164-rsrq-to-sinr-lte-training>

LTE-Anbieter. LTEWatch for Huawei models. Viitattu 6.12.2015 <http://www.lte-anbieter.info/lte-watch/huawei.php>

LTE-Anbieter. RSRP (Referenz Signal Received Power). Viitattu 25.10.2015 <http://www.lte-anbieter.info/technik/rsrp.php>

LTE-Anbieter. RSRQ (Reference Signal Received Quality). Viitattu 26.10.2015 <http://www.lte-anbieter.info/technik/rsrq.php>

LTE-Anbieter. SINR and signal to noise ratio. Viitattu 1.11.2015 <http://www.lte-anbieter.info/technik/sinr.php>

Nohrborg, M. 3GPP. LTE Viitattu 10.8.2015. <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

Rohde & Schwartz 2012. UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction. https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma111/1MA111_4E_LTE_technology_introduction.pdf

Share Technote. Code Rate. Viitattu 2.11.2015 http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_CodeRate.html

Share Technote. MIMO (Multiple Input Multiple Output). Viitattu 3.11.2015 www.sharetechnote.com > LTE > MIMO (Multiple Input Multiple Output).

Share Technote. RSRQ (Reference Signal Received Quality). Viitattu 26.10.2015 www.sharetechnote.com > LTE > RSRQ (Reference Signal Received Quality).

Share Technote. RSSI (Reference Signal Strength Indicator). Viitattu 26.10.2015 www.sharetechnote.com > LTE > RSSI (Reference Signal Strength Indicator)

Tutorials Point. LTE Communication Channels. Viitattu 24.10.2015 http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_communication_channels.htm

Viestintävirasto 2015. Laajakaistaliittymien määrä Suomessa. Viitattu 26.7.2015. www.ficom.fi
>Tietoa toimialasta >Tilastoja >Laajakaistaliittymien määrä Suomessa.

Viestintävirasto 2015. Laajakaistaliittymien määrä Suomessa. Viitattu 26.7.2015. www.ficom.fi
>Tietoa toimialasta >Tilastoja >Matka- ja lankapuhelimia suomalaisissa kotitalouksissa.

Wannstrom, J. 2013 3GPP. LTE Advanced Viitattu 26.7.2015. <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

Testattujen antennien datalehdet

Dipol ATK-LOG LTE

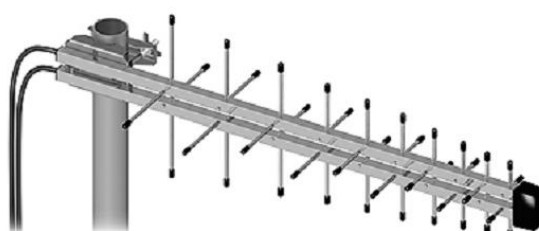
27.8.2015

LTE MIMO Antenna: ATK-LOG LTE (800-2170MHz, 10m cable, SMA plug)



LTE MIMO Antenna: ATK-LOG LTE (800-2170MHz, 10m cable, SMA plug)

Code: A7056_10



View of the module



View of the SMA connector

The ATK-LOG LTE antenna has been designed for use in GSM/DCS/UMTS/HSDPA/LTE systems working in 800-2170 MHz range. It effectively solves the problems of inadequate signal level which often occurs in the case of modems/devices with built-in antennas. The antenna comes with 10-meter cable terminated with SMA plug.

The antenna has been designed for operation with LTE modems equipped with two antenna connectors, some cellular phones, GSM, DCS, 3G modems.

MIMO (Multiple Input, Multiple Output) - technical solution increasing the bandwidth of wireless transmission with the use of multiple antennas (or antenna arrays) on both sides of the link.

Key features:

- External, logarithmic, directional
- **MIMO 2x2**
- Broadband: 800-2170 MHz
- Suitable for **GSM, DCS, UMTS, LTE**
- Gain up to 5 dBi
- **DC-shorted**
- VSWR <4
- 10 m cable terminated with SMA plug
- Mounted to a mast with U-bolts

http://www.dipolnet.com/document-print-A7056_10.htm

1/2

Specifications:

Name	ATK-LOG LTE	
Code	A7056_10	
MIMO	Yes (2x2)	
Physical channels	Vertical	Horizontal
Operating band [MHz]	800-2170	800-2170
Gain [dBi]	up to 5	up to 5
Half-power beam [°] V	91	91
Half-power beam [°] H	62	62
Impedance [Ω]	50	
VSWR	<4	
Polarization	Vertical/Horizontal	
Connector	SMA plug	
Cable length [m]	10	
Antenna length [mm]	670	
Weight [kg]	0.53	

Dipol ATK-LOG ALP LTE

ATK-LOG ALP LTE MIMO 2x2 Antenna (800-3000MHz, 10m cables, SMA plug)

Code: **A7054_10**



View of the MIMO antenna



The included cable coming out from each of the two antenna units is 10 m long and is terminated with SMA plug

The MIMO antenna consists of two identical units - one of them should be mounted vertically, the second - horizontally.

The ATK-LOG ALP LTE MIMO logarithmic antenna has been designed for use in GSMDCS/UMTS/HSDPA/LTE systems working in 800-3000 MHz range. It effectively solves the problems of inadequate signal level which often occurs in the case of modems/devices with built-in antennas. Each of the 10-meter cables is terminated with SMA plug that can be directly connected to the cellular device.

http://www.dipolnet.com/document-print-A7054_10.htm

1/4

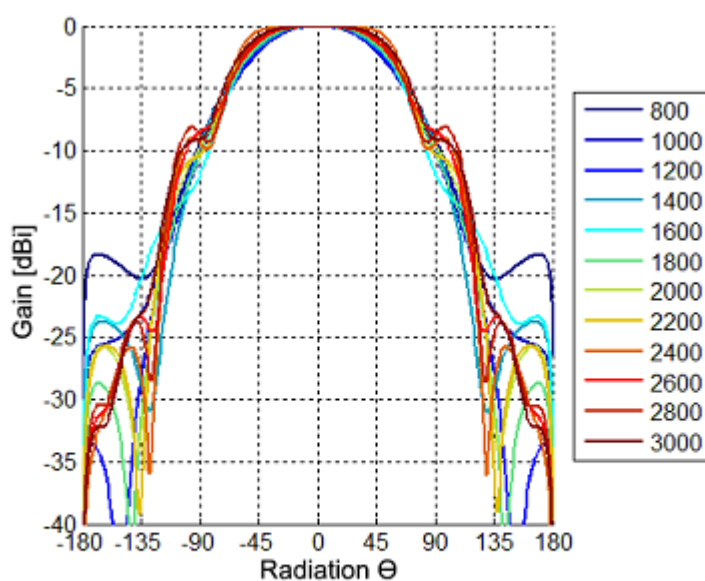
The antenna has been designed for use with LTE modems (with two antenna connectors), cell phones, GSM, DCS, 3G modems.

MIMO (Multiple Input, Multiple Output) – is a method for multiplying the capacity of a radio link using multiple transmitting and receiving antennas to exploit multipath propagation.

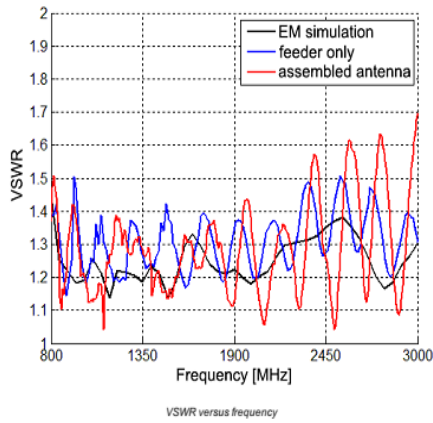
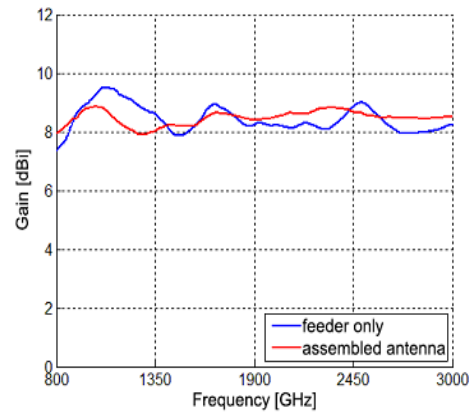
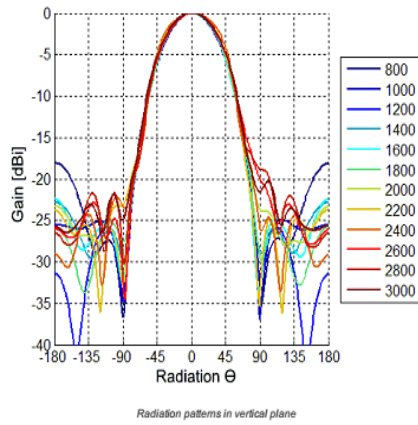
Distinguishing features:

- Frequency range: 800-3000 MHz,
- Gain: up to 9 dBi,
- Cable length: 10 m,
- SMA plug,
- VSWR: max 1.7,
- MIMO,
- DC short-circuited.

The parameters of the antenna have been tested by the staff of the Department of Electronics at the AGH University of Science and Technology in Krakow.



Radiation patterns in vertical plane



Name	ATK-LOG ALP LTE MIMO 800-3000 MHz
Code	A7054_10
Operating band [MHz]	800-3000
Gain [dBi]	9
Cable length [m]	10
Connector	SMA plug
Polarization	V
H-beam width [°]	76
V-beam width [°]	66
VSWR	<1.7
Impedance [Ω]	50
DC-shorted	Yes
Packaging	cardboard box
Weight [kg]	1.8
Length [m]	0.26

Panorama Antennas WMM8G-7-27



WMM8G-7-27

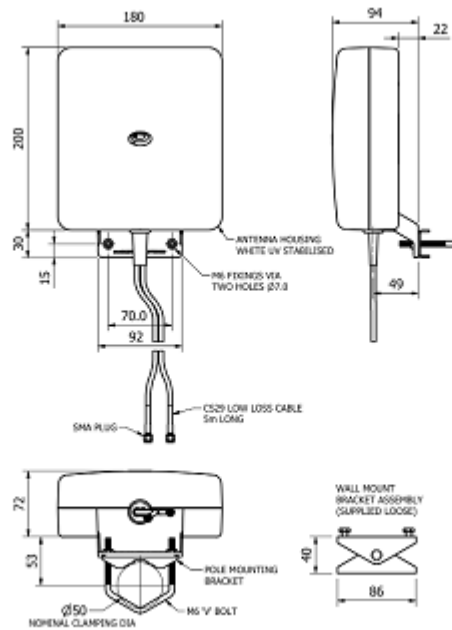
- Supports MIMO & diversity across 3G & 4G
- Two wideband elements with gain
- Durable wall mount housing
- Suitable for mast, wall and desk mounting

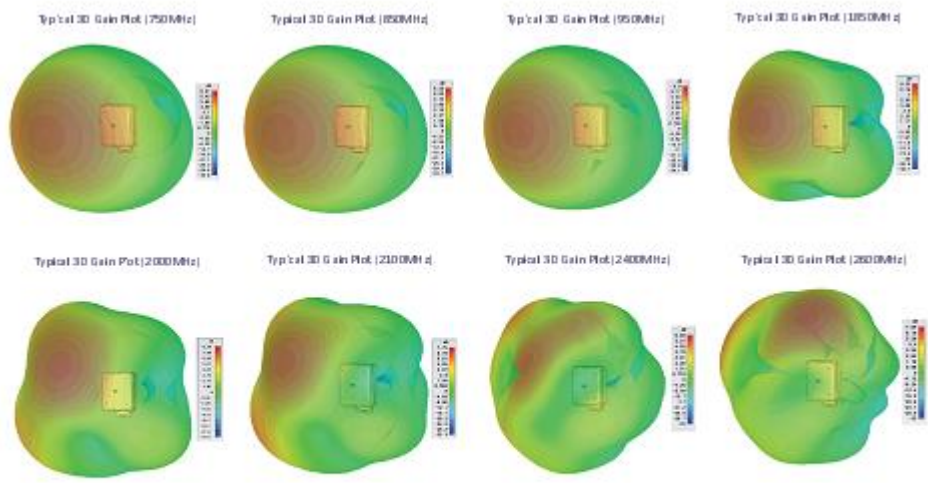
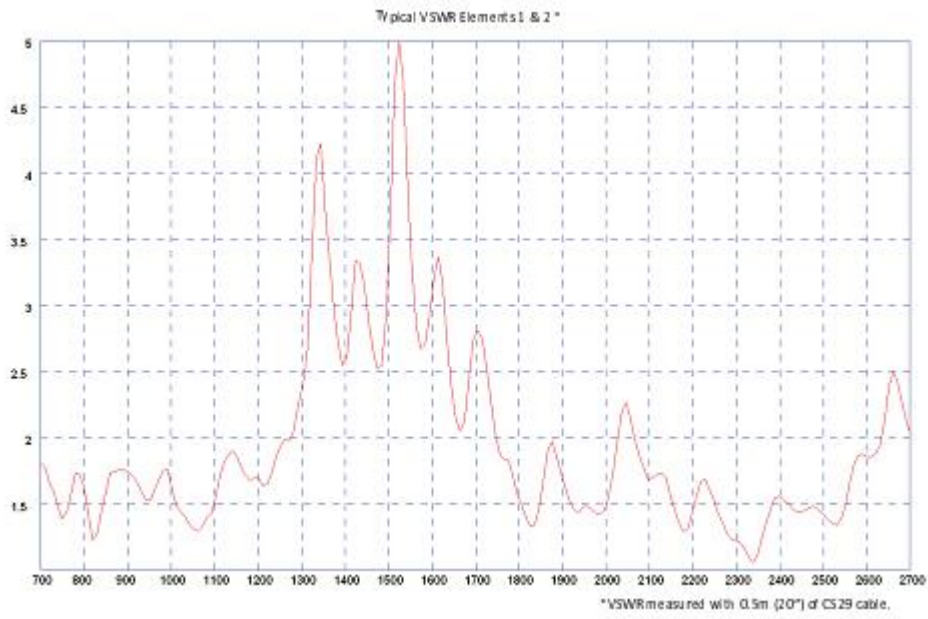
The WMM8G-7-27 antenna is a high directional gain 2x2 MIMO signal boosting antenna for 2G, 3G and 4G networks. Incorporating two separately fed wideband elements in a single housing the WMM8G-7-27 is equipped to provide client side MIMO and diversity support for 2G, 3G and 4G networks. With 6dB of peak gain at 698-960MHz and 9dB peak gain at 1710-2700MHz the WMM8G-7-27 provides extra gain for next generation networks.

The rugged, weather resistant housing is designed for wall mounting and wall and mast mount brackets are provided. Supplied with fitted low loss double shielded twin cable the WMM8G-7-27 minimises exposed connector joints and simplifies cable management for easy installation.

The WMM8G-7-27 is a cost effective value added product for network operators and service providers ensuring a stable link with improved data rates for subscribers thereby improving satisfaction and retention.

Technical Drawing





Part No.		WMNB G-7-27-55P
Electrical Data		
Frequency Range (MHz)	Antenna 1	8-860/1710-2700
	Antenna 2	8-860/1710-2700
Operational bands	2G / 3G / 4G	
Radiation pattern	Directional	
Nominal Polarisation	Vertical	
Peak Gain (excl cable loss)	698-960 MHz	6dBi
	1710-2170 MHz	9dBi
	2396-2700 MHz	6dBi
Efficiency - excluding cable loss (all bands)	> 65%	
Correlation coefficient (all bands)	< 0.05	
Max input power (W)	20 Watts	
Nominal Impedance	50Ω	
Mechanical Data		
Dimensions (mm)	Height	230 (9")
	Width	180 (7.1")
	Depth	94 (3.7")
Operating temp (°C)	-30° / +70°C (-22° / 158°F)	
Material	U.V. stable, impact resistant ASA	
Colour	RAL9 010 (Pure White)	
Mounting Data		
Fixing	Wall mount / mast mount / desk mount	
Mounting bracket material	Stainless steel / Aluminium	
Pole diameter (mm)	20-50 / (0.78 - 1.96")	
Cable Data		
Type	2 x CS29 Coax (double shielded RG58)	
Diameter (mm)	5 (0.2")	
Length (m)	5 (16')	
Termination	2 x SMA (m)	

CSG REN 67027012X



**XPOL LTE PANEL ANTENNA
REN 67027012X PFx2**

PARAMETERS	SPECIFICATIONS	
Frequency Band	698 – 960 MHz	1710 – 2700 MHz
Gain	10.0 dBi	12.0 dBi
VSWR	≤ 2.5 : 1	
Polarisation	XPOL + / - 45 degree	
Horizontal Beamwidth	80°	65°
Vertical Beamwidth	55°	52°
Front to Back Ratio	≥ 25 dB	
Max. Power	100 Watt	
Impedance	50 Ω	
Cable + connector	2x 10 mtr LMR 200 + SMA(M)	
Dimensions (approx)	265 x 265 x85 mm	
Weight (approx)	0.54 Kg	
Rated wind velocity	210 Km / hr	
Mast Diameter	Φ 30 – 50 mm	



Delta Optik ATK-P17-LTE

Code: ATK-P17/LTE

PANEL ANTENNA ATK-P17/LTE

The ATK-P17/LTE antenna was especially designed for Internet network access service LTE. Connecting this antenna to the modem allows to increase the stability, bandwidth and signal strength of your connection.

Only dual antenna guarantees proper operation and best performance of the LTE.

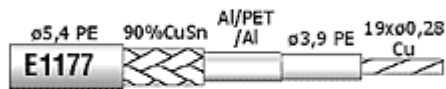


Frequency range:	1700 ... 2100 MHz
Connectors:	2 x "N" Socket
Gain:	2 x max. 17 dB
Impedance:	50 Ω
Polarization:	Vertical / Horizontal
Main features:	<ul style="list-style-type: none"> • Mast diameter Ø 25 ... 50 mm • High resistance to wind and weather
Weight:	1.07 kg
Dimensions:	471 x 255 x 55 mm
Guarantee:	2 years

Satec RF-5



The cable in close-up



Structure of the cable

Application

Data transmission (RF networks).

Specifications

Name	RF-5
Code	E1177
Capacitance [pF/m]	82
Screening efficiency [dB]	-
Internal conductor resist. [ohm/km]	12
External conductor resist. [ohm/km]	16
Attenuation at: 50MHz [dB/100m]	6.4
100MHz [dB/100m]	9.1
200MHz [dB/100m]	12.9
500MHz [dB/100m]	20.4
800MHz [dB/100m]	27.3
1000MHz [dB/100m]	30.5
1750MHz [dB/100m]	41.6
2000MHz [dB/100m]	44.5
2400MHz [dB/100m]	48.8