

Opinnäytetyö (AMK)

Liiketalous, ICT ja kemiantekniikka

Elektroniikkasuunnittelu

2015

Olli Malmberg

OLOSUHTEIDEN VAIKUTUS LATAUSNOPEUTEEN 800 MHz:n LTE-VERKOSSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Liiketalous, ICT ja kemiantekniikka | Elektroniikkasuunnittelu

Kevät 2015 | Sivumäärä 28 + 1

Timo Tolmunen

Olli Malmberg

OLOSUHTEIDEN VAIKUTUS LATAUSNOPEUTEEN 800 MHz:n LTE-VERKOSSA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä 800 MHz:n taajuisen LTE-verkon tiedonsiirron latausnopeuden vaihteluihin olosuhteiden muuttuessa. Tavoitteena oli saada karkea arvio siitä, kuinka herkkä kyseinen tekniikka ja taajuus on loppukäyttäjän sijainnista ja sään vaihteluille.

Työ toteutettiin kaikkien saatavilla olevilla välineillä ja ohjelmistoilla, jotta pystytään simuloimaan tuloksia tavallisen asiakkaan kannalta. Mitattavaksi kohteeksi valittiin telemasto taajaman ulkopuolelta ja tehtiin siitä muutamia mittauksia antennikeilassa, esteen takana, antennikeilojen välissä ja sateisella säällä.

Mittaustuloksista paljastui yllättävän suuria latausnopeuden heikkenemisiä esteen takana. Myös antennikeilojen välissä latausnopeus oli hitaampaa kuin antennikeilassa. Sään vaikutusta ei pystytty tässä kohteessa toteamaan latausnopeuden muutoksille.

Opinnäytetyössä saatiin selkeästi osoitettua, että 800 MHz:n LTE-verkon tiedonsiirron latausnopeus on erittäin haavoittuvainen maaston muodoille. Myös jos loppukäyttäjän sijainti on antennikeilojen välissä, jäädään helposti maksiminopeuksien alapuolelle.

ASIASANAT:

LTE, Latausnopeus, mobiiliverkko, 800 MHz

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Business, ICT and Chemical Engineering | Electronic design

Spring 2015 | 28 + 1

Timo Tolmunen

Olli Malmberg

THE EFFECT OF CONDITIONS ALTERATION ON THE DOWNLOAD SPEED OF THE 800 MHz LTE NETWORK

The purpose of this thesis was to examine the alteration in the download speed of the 800 MHz LTE network under changing weather and terrain conditions. The aim was to develop an understanding as to how sensitive this technology and frequency are to the terrain at the location of the end-user and changes in weather conditions.

In order to simulate the results of this thesis from the point of view of an ordinary end-user, the work under this thesis was carried out with equipment and software that are widely available. A telemast outside conurbation was chosen as the focus of the examination and a number of measurements were taken in the direct antenna beam, between antenna beams, behind obstacle and under rainy conditions.

The examination revealed a surprisingly significant drop in the download speed behind obstacle. The download speed between antenna beams was also lower than in the direct antenna beam. No evidence suggesting that weather conditions would affect download speed was found.

This thesis established beyond doubt that the download speed of the 800 MHz LTE is extremely vulnerable to certain terrain forms. In addition, when the end-user is located between antenna beams, the 800 MHz LTE is unlikely to achieve its maximum download speed.

KEYWORDS:

LTE, download speed, mobile network, 800 MHz

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
1.1 Tausta	7
1.2 Tavoite	8
1.3 Menetelmät	8
2 LTE	9
2.1 Historia	9
2.2 Standardi	9
2.3 Tekniikka	10
2.4 800 MHz:n taajuus	10
3 LTE VERKON TOIMIJAT SUOMESSA	12
3.1 Operaattorit	12
3.2 800 MHz:n huutokauppa ja jaetut taajuudet	12
3.3 Operaattoreiden käyttämät laitteet	13
3.4 Laitteiden asennus mastoon	13
4 MITTAPAIKAN VALINTA	17
4.1 Mitattavan tukiaseman valinta	17
4.2 Kompassisuunta, tiltaus, antennikorkeus ja antennimalli	17
4.3 Mittapisteiden valinta kartalta eranto huomioiden	19
5 MITTAUS	20
5.1 Käytetyt mittalaitteet	20
5.2 Mittaus antennikeilassa	20
5.3 Mittaus antennikeilojen välissä	21
5.4 Mittaus puuston tai maaston takana	22
5.5 Mittaus vesisateessa	23
6 TULOKSIEN ANALYSOINTI	24
6.1 Mittaustulosten tarkastelua	24
6.2 Mahdollisten muuttujien tarkastelua	25
6.3 Tulevaisuuden näkymät	25
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	27

LIITTEET

Liite 1. Kathrein antennimalli K80010304

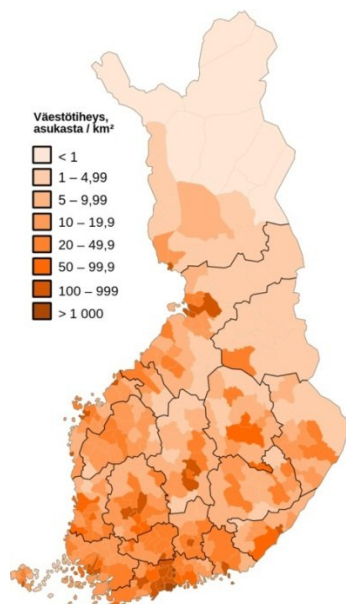
KÄYTETYT LYHENTEET

0G – 4G	Generation, matkapuhelinsukupolvet
GSM	Global System for Mobile communication, kansainvälinen järjestelmä mobiiliyhteyksille
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access, matkapuhelinverkon yhteyskäytäntö, joka nopeuttaa UMTS-pohjaista 3G-matkapuhelinverkkoa käyttäjälle päin
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access, matkapuhelinverkon yhteyskäytäntö, joka nopeuttaa UMTS-pohjaista 3G-matkapuhelinverkkoa tukiasemalle päin
ITU	International Telecommunication Union, kansainvälinen televiestintäliitto
LTE	Long Term Evolution, neljännen sukupolven matkapuhelinteknologia
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ortogonaalinen taajuusmonikäyttötekniikka
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access, yhden kanta-aallon taajuusmonikäyttötekniikka

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Nykypäivänä tietoliikenne vaatii yhä enemmän ja enemmän tiedonsiirtokykyä loppukäyttäjiltä. Nämä vaatimukset ovat asettaneet suuria haasteita ylläpitää harvaan asutuissa maissa asuvien ihmisten mahdollisuutta pysyä mukana jatkuvasti kehittyvässä ja lisää tiedonsiirtonopeutta vaativassa maailmassa. Suomi on varsin harvaan asuttu maa, väestötiheys on keskimäärin 17,9 ihmistä neliökilometrillä. Kuvassa 1 on esitetty Suomen väestöjakauma. Esimerkiksi Lapin maakunnassa asuu vain noin 2 ihmistä neliökilometrillä. Tästä syystä viestintävirasto on antanut säädöksiä, jotta kaikille kansalaisille pystyttäisiin takaamaan samanarvoiset asemat elämiseen tietoyhteiskunnassa. Käytännössä se tarkoittaa mobiiliverkon rakentamista ja päivittämistä nykypäivän standardeihin harvaan asutuille alueille, joissa infrastruktuuri on harvempi ja etäisyydet suurempia. Kaupalliset mahdollisuudet menestyä erilaisilla kaapeleilla toteutetuilla tekniikoilla harvaan asutuilla alueille on monin paikoin lähes mahdotonta pienestä asiakasmäärästä johtuen. Kun 800 MHz:n taajuus vapautettiin kaupalliseen käyttöön, joka oli ennen televisiokanavien käytössä, tuli operaattoreille mahdollisuus ja taajuushuutokaupan myötä myös velvollisuus toteuttaa nämä viestintäviraston vaatimukset. [1]



Kuva 1. Suomen väestötiheys vuonna 2011. [1]

1.2 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia etäisyyden, sijainnin, sään ja puuston vaikutusta 800 MHz:n LTE-verkon tiedonsiirron latausnopeuteen. Tavoitteena oli saada karkea arvio siitä, kuinka herkkä kyseinen tekniikka ja taajuus ovat käyttöpaikan suhteen ja olosuhteiden muutoksille. Opinnäytetyön tarkoituksena ei ollut tutkia kyseisen tekniikan maksimilatausnopeuksia, vaan edellä mainittujen asioiden vaikutuksia latausnopeuteen. Mittauspaikat pyrittiin saamaan mahdollisimman tarkkaan samalle etäisyydelle ja korkeudelle mitattavasta tukiasemasta, jotta saataisiin mahdollisimman luotettava otanta mittauksia.

1.3 Menetelmät

Mittauslaitteina ja ohjelmistoina käytettiin yleisiä markkinoilla olevia laitteita, jotta tulokset simuloisivat mahdollisimman tarkasti tavallisen asiakkaan käyttökokemuksia. Telemaston valinta tehtiin reilusti taajaman ulkopuolelta, etteivät asiakasmäärät ratkaisevasti vaikuttaisi kokeen tulokseen. Mittapisteet valittiin mahdollisimman tarkasti samaa etäisyyttä pitäen, mitattaessa puuston/maaston takana tai mitattaessa avoimessa maastossa. Samaa menetelmää käytettiin mitattaessa, sekä antennikeilassa, että antennikeilojen välissä.

2 LTE

Matkapuhelinverkon kehittyminen viime vuosikymmeninä on tuonut mukanaan palveluita, jotka vaativat yhä enemmän tiedonsiirtokapasiteettia. Tutkijat ympäri maailman kehittävät uusia tekniikoita ja tiedonsiirtotapoja erilaisiin ympäristöihin. Mobiiliteknologia on yhä merkitsevämmässä roolissa, jotta olisi mahdollista tarjota myös syrjäseuduilla asuville tilaisuus olla mukana tietoyhteiskunnassa.

2.1 Historia

GSM-matkapuhelinverkon historian voidaan katsoa ulottuvan vuoteen 1991, jolloin maailman ensimmäinen GSM-puhelu tehtiin Suomessa. Samana vuonna toteutettiin myös maailman ensimmäinen kaupallinen GSM-palvelu. Vuonna 1993 Suomessa tehtiin maailman ensimmäinen datapuhelu GSM-verkon yli. Tätä hetkeä voidaankin pitää matkapuhelimien datapalveluiden aloitusajankohtana. [2]

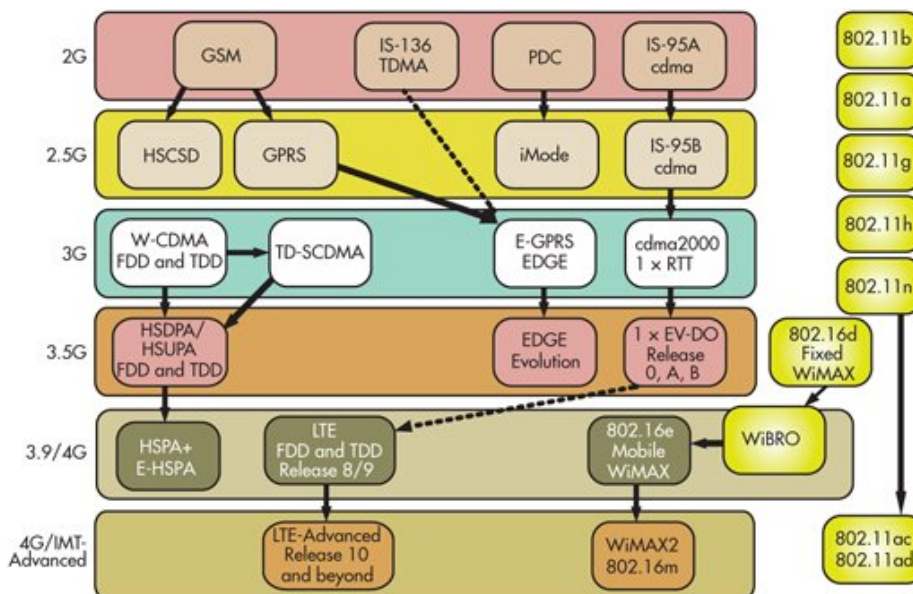
Vuonna 2005 Suomessa otettiin käyttöön 3G-tekniikkaan lukeutuvan HSDPA-verkkoteknologian (High Speed Downlink Packet Access). Tämä paransi merkittävästi mobiililaitteiden datansiirtokykyä tukiasemasta, ja siirtokyky oli aluksi jopa noin 2 Mbit/s. Vuonna 2007 Suomessa otettiin käyttöön 3G-tekniikkaan lukeutuvan HSUPA-verkkoteknologian (High Speed Uplink Packet Access). Tämä puolestaan nosti mobiililaitteiden lähetyiskykyä tukiasemalle päin. [2]

LTE (Long Term Evolution) otettiin käyttöön Suomessa vuonna 2010, ja taajuutena käytettiin 1800 MHz:n taajuusaluetta. Silloin ITU:n (International Telecommunication Union) mukaan LTE ei vielä ollut virallisesti 4G, vaan luokiteltiin 3G tekniikaksi. Operaattoreiden painostuksesta ITU kuitenkin laski 4G-standardin vaatimuksia ja LTE, kuten Dual Carrier HSDPA+, asetettiin 4G-kategoriaan. [2],[3]

2.2 Standardi

Matkapuhelinteknologia sisältää runsaasti erilaisia standardeja ja säädöksiä, jotta pystyttäisiin kaupallisesti tarjoamaan samankaltaisia palveluita asiakkaille maasta riippumatta. Tämä helpottaa myös asiakkaiden käsitystä markkinoilla olevista tuotteista ja laitteista. ITU on yksi tärkeimmistä järjestöistä, joka määrittelee esimerkiksi vaadittavat kriteerit 4G:lle. Alun perin ainoastaan LTE-Advanced ja WiMax 2 piti olla

4G-standardit täyttävä tekniikka ja nykyinen LTE vain 3.9G. Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty eri sukupolvien matkapuhelintekniikat. [3],[4]



Kuva 2. Mobiilitekniikat.[4]

2.3 LTE-tekniikka

Tekniikkana LTE on ensimmäinen, joka käyttää erilaista tiedonsiirtotapaa tukiasemasta loppukäyttäjään päin, kuin loppukäyttäjistä tukiasemaan päin. Tukiasemasta loppukäyttäjään päin käytetään tiedonsiirtotapana OFDM-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Loppukäyttäjistä tukiasemalle päin käytetään SC-FDMA-tekniikkaa (Single Carrier frequency Division Multiplexing Access). [5]

LTE-tekniikasta on tehty useita eri tutkielmia ja opinnäytetöitä, joten en keskity omassa työssäni tähän osa-alueeseen. Esimerkiksi Arttu Juhalan opinnäytetyö on yksi hyvin kattavasti LTE-tekniikasta kertova tutkielma. Viitteissä muutama esimerkki[17],[18]

2.4 800 MHz:n LTE

800 MHz:n LTE-taajuus vapautui kaupalliseen käyttöön vuonna 2014 pitkään jatkuneen huutokaupan päätyttyä. Kyseinen taajuus oli ennen televisiokanavien käytössä ja se huutokaupattiin operaattoreille. 800 MHz:n LTE:n kantama on matalamman taajuuden

ominaisuuksien vuoksi pidempi verrattuna muihin LTE-taajuuksiin, eikä materiaalien läpäisyvaimennus ole niin suuri kuin korkeammilla taajuuksilla. Nykyaikaisessa rakentamisessa pyritään mahdollisimman pieneen energiahävikkiin, joka tarkoittaa yleensä paksumpia seinä- ja kattorakenteita, sekä esimerkiksi selektiivilaseja. Tämä on tuonut oman haasteensa matkapuhelinverkon toimivuudesta kiinteistöissä, koska signaalien vaimennukset ovat kasvaneet uusien rakennusmenetelmien myötä. Operaattorit ovatkin ilmoittaneet rakentavansa myös keskusta alueille 800 MHz:n LTE-verkon, jotta saataisiin parempi kuuluvuus rakennuksien sisälle. Läpäisyvaimennuksista joka kattaa matkapuhelinverkon taajuudet, on tehty mielestäni erittäin hyvä tutkielma nimeltään: Radiosignaalin vaimennusmittauksia nykyaikaisissa asuintaloissa. Tutkimuksen verkko-osoite löytyy viitteistä.[19]

3 LTE-VERKON TOIMIJAT SUOMESSA

Suomessa on kolme maanlaajuisesti toimivaa matkapuhelinoperaattoria, jotka tarjoavat palveluinaan niin puhetta, dataa kuin myös erilaisia viihdepalveluita. Myös muita pienempiä toimijoita löytyy paikallisesti, mutta 800 MHz:n LTE-taajuutta tarjoavat opinnäytetyön kirjoittamishetkellä vain DNA Oy, Elisa Oyj ja TeliaSonera Finland Oy.

3.1 Operaattorit

DNA Finland Oy perustettiin vuonna 1999, kun silloiset Finnet-ryhmän puhelinyhtiöt yhdistyivät eri vaiheiden kautta. Nykyinen DNA-konserni aloitti toimintansa vuonna 2007, kun kuuden puhelinyhtiön liiketoiminnot yhdistettiin saman nimen alle. [6]

Elisa Oyj perustettiin vuonna 1882 nimellä Helsingin Telefoonyhdistys. Matkapuhelinpuolella toimi Radiolinja joka perustettiin vuonna 1988, josta tuli Elisan tytäryhtiö 1990-luvun puolessa välissä. Vuonna 2004 kaikki toiminnot keskitettiin saman nimen alle ja Radiolinjasta tuli Elisa. [7]

TeliaSonera Finland Oy on kahden entisen monopoliyhtiön yhteenliittymä. Telia toimi Ruotsissa ja Sonera Suomessa. Yhtiö on perustettu 1850-luvulla ja monien yhdistymisten sekä nimenvaihdosten myötä, nimeksi muodostui vuonna 2003 TeliaSonera Finland Oyj. [8]

3.2 800 MHz:n taajuuden huutokauppa ja jaetut taajuudet

Valtioneuvosto päätti huutokaupata televisiokäytöstä vapautuneen 800 MHz:n taajuusalueen siitä eniten tarjoaville. Tarkempi taajuusalue on 791–821 MHz downlink ja 832–862 MHz uplink. Huudettavina oli kuusi kappaletta taajuuspareja. Huutokauppa toteutettiin SMRA-mallin mukaisesti (Simultaneous multiple-round ascending).

Huutokauppa aloitettiin 24.1.2013 ja se saatiin päätökseen 30.10.2013. Toimiluvat jaettiin kolmelle operaattorille: DNA Oy, Elisa Oyj ja TeliaSonera Finland Oy. Toimiluvan vaatimuksena oli, että vuoteen 2015 loppuun mennessä pitää saada 95 prosentin väestöpeitto 4G-tekniikalla. Vuoteen 2017 mennessä väestöpeiton pitää olla 97 prosenttia (DNA Oy ja Elisa Oyj) ja 99 prosenttia (TeliaSonera Oy). Nämä erot vaatimuksissa johtuvat jaettujen taajuusparien teknisillä eroavaisuuksilla. Alla on luettelo jaetuista taajuuksista ja voittaneista kauppahinnoista. [9],[10]

DNA Oy

Taajuuskaistapari FDD1 (791 - 796 MHz / 832 - 837 MHz): 16 900 000 e
 Taajuuskaistapari FDD2 (796 - 801 MHz / 837 - 842 MHz): 16 670 000 e

Elisa Oyj

Taajuuskaistapari FDD5 (811 - 816 MHz / 852 - 857 MHz): 16 670 000 e
 Taajuuskaistapari FDD6 (816 - 821 MHz / 857 - 862 MHz): 16 670 000 e

TeliaSonera Finland Oyj

Taajuuskaistapari FDD3 (801 - 806 MHz / 842 - 847 MHz): 22 200 000 e
 Taajuuskaistapari FDD4 (806 - 811 MHz / 847 - 852 MHz): 18 900 000 e

Luettelo 1. Taajuuskaistaparit. [10]

3.3 Suomessa käytettävät tukiasema laitteet

Suomessa käytetään pääosin kahden eri valmistajan tukiasemalaitteita. Nämä ovat NSN:n ja LME:n valmistamia matkapuhelinverkon tukiasemalaitteita. Testikäytössä on ollut myös esimerkiksi Huaweiin valmistama tukiasema. Suomessa käytetään uudisrakentamisessa tällä hetkellä käytännössä kahta antennivalmistajaa, ne ovat Kathrein ja Tongyuo. Kummaltakin valmistajalta löytyy useita erilaisia antennejä eri tilanteisiin. Esimerkiksi eri taajuusalueiden yhdistelmäantenneja. Näin saadaan yhdellä antennilla toteutettua kaikki kohteessa olevat tekniikat samaan sektoriin, eli antennisuuntaan.

3.4 Laitteiden asennus mastoon tai kiinteistöön

Käytännössä melkein aina tukiasemarakentaminen toteutetaan tavalla, jossa radioyksikkö asennetaan mastoon tai kiinteistöön lähelle antennia, ja itse tukiasemayksikkö asennetaan laitetilään. Näin saadaan minimoitua radiokaapeleista johtuva tehohäviö. Näiden yksiköiden välille asennetaan valokuitu, jota pitkin tieto siirtyy radion ja tukiasemayksikön välillä. Sekä NSN:n että LME:n laitteilla rakennettu tukiasema pyritään toteuttamaan tällä tavalla. Yksi suuri eroavaisuus kuitenkin löytyy näiden väliltä, sillä NSN:n radioyksiköllä pystytään toimimaan kolmeen sektoriin ilman tehojakoja, kun taas LME:n yksiköstä saadaan tehoja vain yhteen sektoriin. Tästä ominaisuudesta johtuen NSN:n laitteet vievät huomattavasti vähemmän tilaa mastossa tai kiinteistössä.

Kiinteistöissä joudutaan usein tilanteeseen, jossa joudutaan asentamaan myös useampia NSN:n radioyksiköitä pitkien antennietäisyyksien takia. Tämä johtuu siitä, että antennit pyritään asentamaan lähelle katon reunaa. Näin pystytään välttämään katon pinnasta aiheutuvien heijastumien vaikutusta radiosignaaliin. Kuvassa 3 on tyypillinen kiinteistöasennus, jossa on saatu minimoitua rf-kaapeleiden veto. Kuvassa vasemmanpuoleinen yksikkö on vanhempaa tuotantoerää oleva LME:n radioyksikkö ja oikeanpuoleinen NSN:n radioyksikkö.



Kuva 3 Radioyksiköiden asennus kiinteistöön.

Mastoasennuksissa melkein poikkeuksetta päästään asentamaan radioyksiköt lähelle antenniä erilaisilla kiinnityssarjoilla. Asennus pyritään tekemään joko antennien väliin samoihin kiinnitysrautoihin tai antennien alapuolelle. Joissakin kohteissa voi maston ylin osa olla jo niin täynnä, että radiot pitää asentaa normaalista poiketen hieman alemmas antennista. Useasti myös putkimastoissa asennetaan radioyksiköitä normaalia alemmas antennista, jotta saadaan pidettyä painopiste mastossa tasaisempana ja alempana. Alapuolella kuvissa 4 ja 5 on tyypilliset mastoasennukset, sekä NSN:n että LME:n radioilla toteutettuna.



Kuva 4 Mastoasennuskuva NSN-radioilla.



Kuva 5 Mastoasennus LME-radioilla

4 MITTAPAIKAN VALINTA

4.1 Mitattavan tukiaseman valinta

Mitattavan tukiaseman valinnassa yksi tärkeimmistä asioista oli sen sijainti. Kohteen piti olla hieman syrjemmässä, etteivät mahdolliset asiakkaat vaikuttaisi ratkaisevasti mitattavan datan määrään. Vaikka opinnäytetyössä ei tutkittu maksimidatan määrää vaan sijainnin ja olosuhteiden vaikutusta siihen, niin haluttiin silti minimoida asiakasmäärän vaikutuksen riski.

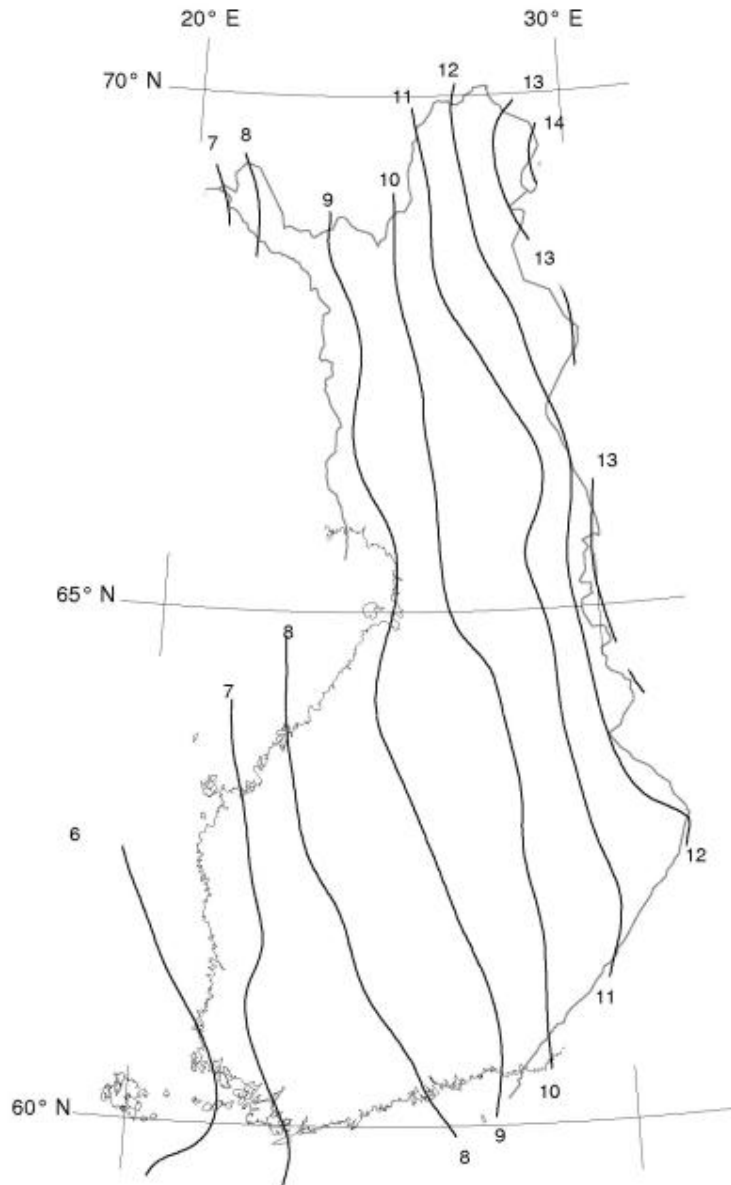
Toinen tärkeä asia tukiaseman valinnassa oli kohteen antennisuunnat. Antennisuuntien piti olla sellaiset, että päästään mahdollisimman keskelle antennikeilaa etäisyyden kasvaessa, kuin myös antennikeilojen väliin etäisyyden kasvaessa.

Näillä kriteereillä valittiin masto osoitteesta Pitkäportaantie 2, Paimio. Kohteessa on Ecosite Oy:n omistama masto nimeltä PalomäkiP. Tähän kohteeseen on rakennettu NSN:n laitteilla 800 MHz:n LTE tukiasema.

4.2 Kompassisuunnat, tiltaus, antennikorkeus ja antennimalli

Ennen kuin mittaukset suoritettiin, varmistettiin kompassilla antennien suunnat ja todettiin niiden olevan seuraavanlaiset: A1: 0°, A2: 120° ja A3: 240°. Kompassilla suuntia tarkistettaessa, otettiin huomioon eranto, joka vaikuttaa tällä hetkellä mitattavassa kohteessa. Näin saatiin muutettua asteluvut karttaan sopivaksi. Eranto aiheutuu siitä, että magneettinen ja maantieteellinen pohjoisnapa sijaitsevat eri paikassa. Tämän takia kartoissa on useasti mainittu alueella vallitseva eranto, joka muuttuu hieman vuosittain. Seuraavassa kuvassa 6 on esitetty vuodelta 2013 Suomessa vallinnut eranto. [11]

DECLINATION (D) 2013.0



Kuva 6 Eranto Suomessa. [11]

Antennit on asennettu 82 m:n korkeuteen maanpinnasta ja niihin on säädetty 4° sähköistä tilityä eli kulmaa. Antenneiksi ovat valikoituneet Kathreinin K80010304 tyyppiset antennit (Liite 1).

4.3 Mittapisteiden valinta kartalta

Kun maston valinta oli päätetty, suoritettiin mittaukset. Kartan avustuksella tutkittiin mahdollisia paikkoja, joissa suorittaa mittaukset. Mittapaikkojen piti olla sellaiset, että niihin pääsee autolla huonommallakin säällä. Mittakohteen ensimmäisen sektorin antennikeila on suunnattu melko tarkasti junaradan vierustaa kulkevan tien suuntaisesti. Junaradan alitse menee tasaisin väliajoin alikulkutunneleita, joiden kohdalta saatiin mitattua maavallin eli esteen takana. Sama tilanne toistui toiseen suuntaan, mutta junarata etenee toisen ja kolmannen sektorin antennisuuntien välissä. Tällä tavoin saatiin pidettyä etäisyys tukiasemaan lähes samana eri mittauksissa. Tarkoituksena oli saada sama etäisyys tukiasemasta mittapisteille antennikeiloen välissä kuin ollessa antennikeilassa, mutta etäisyyden kasvaessa antennikeiloen välissä vaihtoi morkkula tukiasemaa kun parempi signaali tuli tarjolle. Näin ollen jouduttiin hieman tinkimään samoista etäisyyksistä mittapisteissä 2 ja 4 sekä 6 ja 8. Todelliset mittapaikat varmistuivat paikanpäällä ja seuraavat mittaukset tehtiin aina samalla autolla ja kannettavan tietokoneen ollessa mahdollisimman lähellä samassa asennossa mastoon nähden. Kuvassa numero 7 on havainnollistettu mittapaikat, sekä antennisuunnat kartalla.



Kuva 7 Mittapaikat.

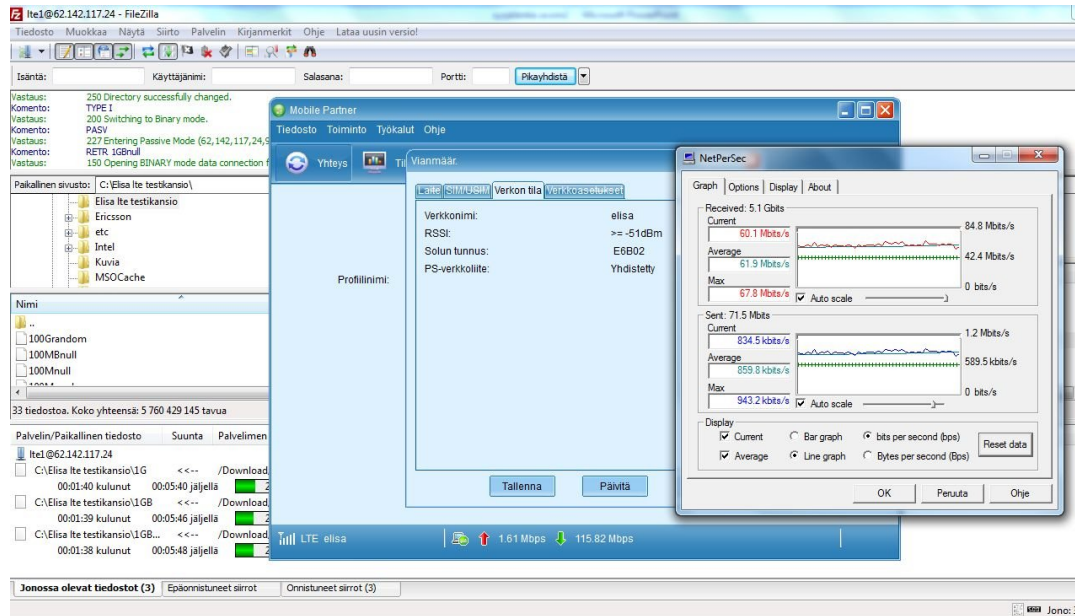
5 MITTAUS

5.1 Käytetyt mittalaitteet

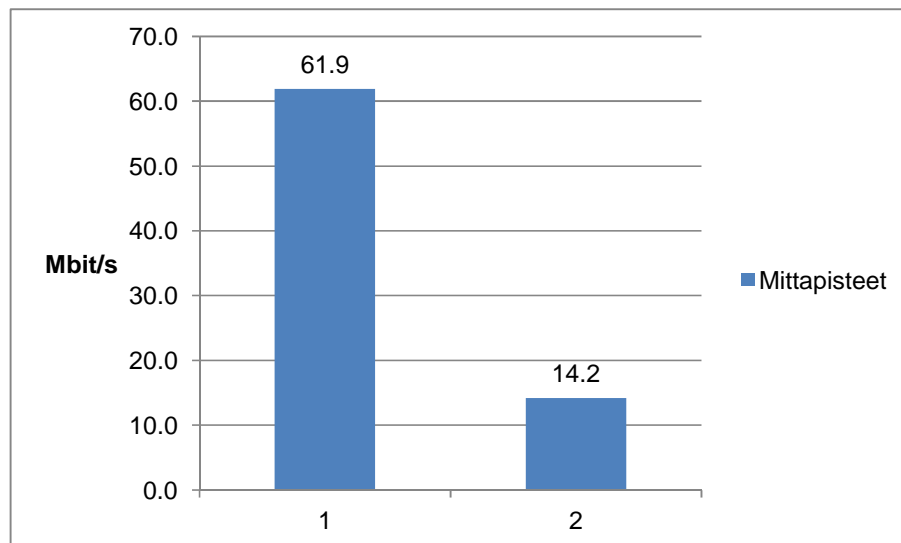
Opinnäytetyössä käytettiin mittalaitteita ja ohjelmia, jotka ovat kaikkien helposti saatavilla. Mittaukset tehtiin Fujitsun Lifebook E-series kannettavalla tietokoneella, johon oli kytketty Elisan rajoittamaton 4G-liittymä. Modeemina käytettiin Huaweiin E392 USB-modeemia, tunnettu myös paremmin nimellä mukkula. Mukkulan mukana tuli Mobile Partner ohjelma, jolla pystyttiin varmistamaan missä tukiasemassa ja sen solussa oltiin kulloinkin kiinni. Itse tiedonsiirtoon käytettiin Filezilla nimistä ohjelmaa, viitteissä ohjelman hankintaan tarvittava linkki. Tiedonsiirrot suoritettiin palvelimelta joka on perustettu nimenomaan tiedonsiirron testaukseen. Kyseinen palvelin on ulkopuolisilta suljettu ja sinne on käyttöoikeus vain Elisalle töitä tekeville. Toinen vaihtoehto mittauksille olisi ollut esimerkiksi speedtest.net sivusto, joka tarjoaa myös palvelua datanopeuden testaukseen. Kyseisen sivuston datavaihtelu koettiin liian suureksi eri mittauskerroilla, jotta voitaisiin tehdä niiden perusteella tarkempaa päätelmää opinnäytetyön aiheeseen liittyen.[15]

5.2 Mittaus antennikeilassa

Ensimmäiseksi tehtiin mittaukset mahdollisimman tarkkaan antennikeilassa ja mahdollisimman hyvällä säällä, jotta saataisiin niin sanotut referenssiarvot joihin verrata muita tuloksia. Antennikeilasta valikoitui kaksi pistettä, joihin maaston muodot eikä puusto pääsisi suuresti vaikuttamaan. Mittapiste 1 oli noin 2 km etäisyydellä mastosta ja mittapiste 2 oli noin 5 km etäisyydellä mastosta. Jokaisessa mittapaikassa tehtiin kaksi kahden minuutin pituista mittausta ja niistä valittiin parempi keskiarvotulos taulukkoon. Alla esimerkkikuva 8 mittausohjelmista, ja kaavio 1 mittaus tuloksista antennikeilassa.



Kuva 8 Mittausohjelmat.

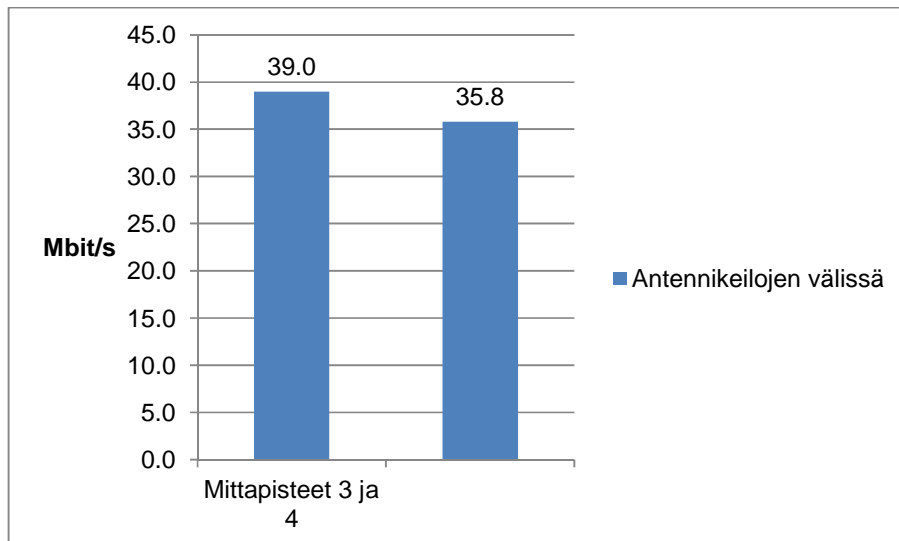


Kaavio 1 Mittaus antennikeilassa.

5.3 Mittaus antennikeilojen välissä

Seuraavaksi tehtiin kaksi mittausta antennikeilojen välissä. Mittapiste 3 oli noin 2 km etäisyydellä mastosta ja mittapiste 4 oli noin 3.1 km etäisyydellä mastosta. Tavoitteena oli saada neljäs mittapiste kauemmas mastosta, noin 5 km päähän, mutta moka

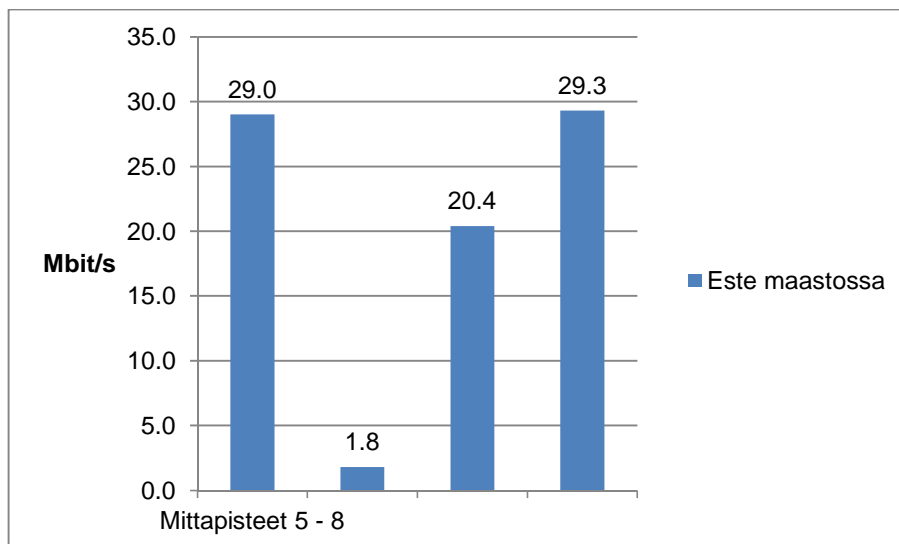
valitsi eräästä toisesta tukiasemasta tulevan voimakkaamman signaalin. Tämän vuoksi mittapisteitä 2 ja 4 ei voi verrata suoraan toisiinsa. Mittaustulokset kaaviossa 2.



Kaavio 2 Mittaus antennikeilojen välissä.

5.4 Mittaus puuston tai maaston takana

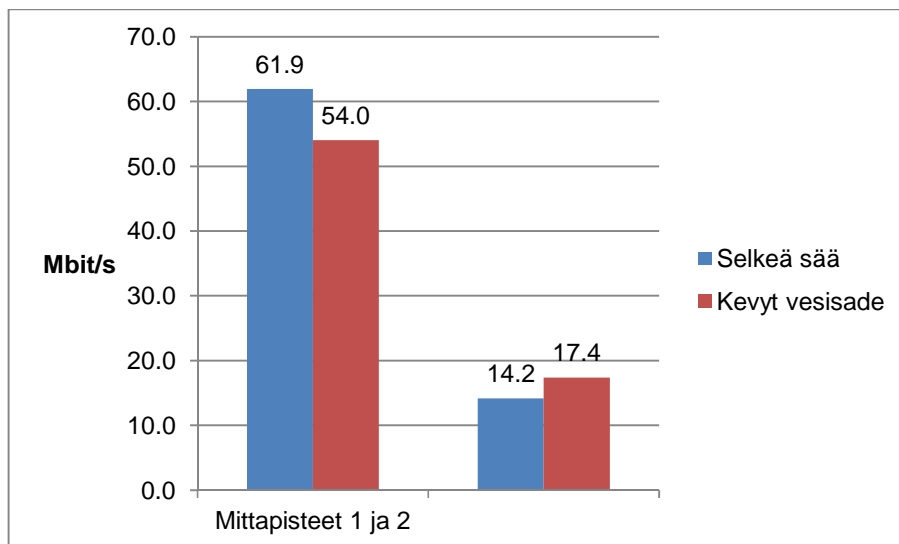
Mittaukset puuston tai esteen takana toteutettiin antennikeilassa, kuin myös antennikeilojen välissä. Mittapisteet 5, 6 ja 7 olivat esteen takana, eli junaradan alikulkutunnelin maavallin takana. Mittauksia ei tehty tunnelissa vaan sen ulkopuolella siten, että maavalli peitti suoran näkyvyyden mastolle päin. Mittapiste 8 oli enimmäkseen puuston takana, mutta siinäkin maasto hieman peitti näkyvyyttä mastolle päin. Kaaviossa 3 on esitetty saadut mittaustulokset



Kaavio 3 Mittaus esteen takana.

5.5 Mittaus vesisateessa

Tarkoituksena oli saada mitattua latausnopeus joko lumimyrskyssä tai rankkasateessa, mutta mittauspäivinä oli tarjolla korkeintaan heikkoa vesisadetta. Kuten kaaviosta 4 nähdään, mittauksilukokset eivät hirveästi poikkeaa selkeän sään mittauksista. Mittapisteessä 2 tuli jopa hieman enemmän dataa heikossa vesisateessa. Teoriassa säällä ei pitäisikään olla suurta merkitystä 800 MHz:n taajuusalueella, kuten ITU:n (ITU-R P.838) ohjeistuksesta käy ilmi. [16]



Kaavio 4 Mittaus vesisateessa.

6 TULOKSIEN ANALYSOINTI

6.1 Mittaustulosten tarkastelua

Mittaustuloksista kaaviossa 5 käy hyvin ilmi, että tiedonsiirtonopeus on erittäin haavoittuvainen tukiaseman ja käyttäjän välissä olevasta maastosta, puustosta tai muusta esteestä joka estää suoran tai avoimen näkyvyyden tukiasemalle päin. Sään vaikutusta ei pystytty näyttämään toteen, koska mittauksia ei päästy tekemään kunnan lumi- tai vesisateessa. Teoriassa sään ei pitäisi 800 MHz:n taajuudella vielä merkittävästi vaikuttaa. Näyttäisi kuitenkin siltä, että sään vaikutus on vähäisempi, ainakin alle 5 km etäisyyksillä, mitä oltiin alun perin ajateltu.

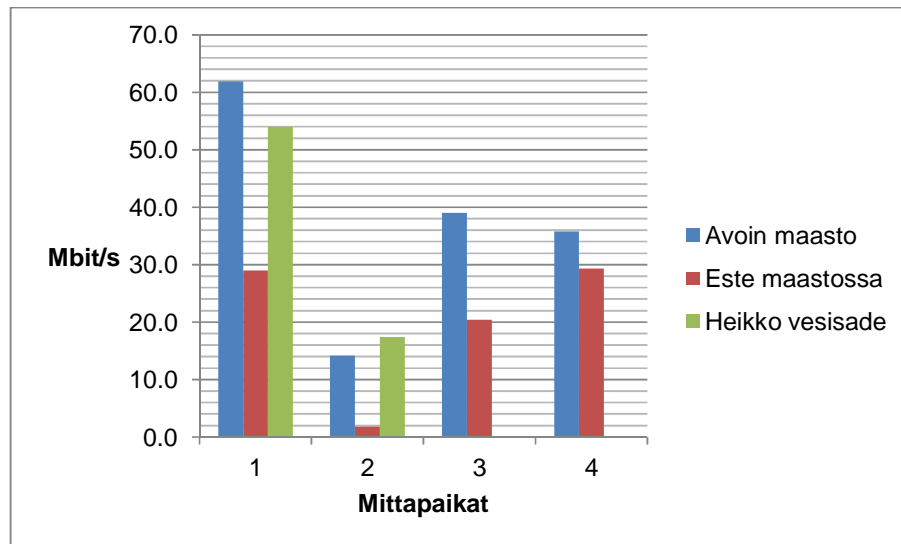
Jo 2 km:n etäisyydellä maastosta antennikeilassa ollessa (mittapaikka 1) putosi tiedonsiirtonopeus yli puolella mitattaessa esteen takana. Esteen edessä oli avointa lumipeitteessä olevaa peltoa, joten puusto tai muut fyysiset asiat eivät vaikuttaneet tähän tulokseen merkittävästi, jos laisinkaan. Vaikka työn tuoman kokemuksen myötä tiedettiin maaston vaikuttavan tiedonsiirtonopeuteen, oli näin suuri ero mittaustuloksissa kuitenkin yllätys. Sama tilanne toistui 5 km:n etäisyydellä olevalla mittapaikalla 2. Signaalin taso oli jo avoimessa maastossa huomattavasti heikompi, joten esteen takana tiedonsiirtonopeus romahti melkein kokonaan 0:aan.

Antennikeilojen välissä mitattaessa (mittapaikka 3) eroavaisuus tiedonsiirtonopeuden muutoksessa oli likimain sama kuin aiemmissa mittapaikoissa, eli latausnopeus puoliintui. Mittapaikat olivat pääosin identtiset: peltoaukea esteen edessä ja siitä suora näkyvyys mastolle päin. Signaalin taso oli hieman heikompi verrattaessa mittapaikan 1 lukemiin, koska antennin ominaisuuksista johtuen sen säteilykuvio on eteenpäin voimakkaampi kuin sivuille. (Liite 1)

Mittapaikka 4 erosi näistä muista mittapaikoista etäisyyden ja esteen osalta. Mittaus tehtiin pienen puuston takaa, joka vaikutti latausnopeuteen huomattavasti vähemmän kuin kiinteä este. Puusto oli nuorta mäntymetsää, joten sen peittävyys on heikompi kuin esimerkiksi tiheän kuusimetsän. Mutta mittauksissa todettiin jo tällaisen pienemmänkin puuston aiheuttavan tiedonsiirtonopeuteen muutoksia.

Mittaukset vesisateessa toteutettiin mittapaikoissa 1 ja 2, eli avoimessa maastossa ja antennikeilassa. Kuten kaaviosta 5 nähdään, heikko vesisade ei vaikuttanut juuri

lainkaan mittaustuloksiin, vaan päinvastoin dataa tuli jopa hieman enemmän mittapaikassa 2



Kaavio 5 Mittaustulokset.

6.2 Mahdollisten muuttujien tarkastelua

Mahdollisista muuttujista tärkeimpänä pidettiin mahdollisia muita käyttäjiä, jotka kuormittavat samanaikaisesti mitattavaa tukiasemaa. Toinen tärkeä asia on morkulan asento ja sijainti autossa mitattaessa. Mittaustuloksissa oli suuriakin eroja, jos morkula sijaitsee auton penkillä tai esimerkiksi auton ikkunoiden tasalla. Näihin asioihin pystyisi vaikuttamaan parhaiten, jos mittaukset tehtäisiin aamuyöstä ja kiinteällä mittausasemalla. Aamuyöstä muiden käyttäjien kuormitus tukiasemaan olisi mahdollisesti kaikkein vähäisintä ja kiinteällä mittausasemalla pystyttäisiin poistamaan morkulan asennon vaikutus tuloksiin.

6.3 Tulevaisuuden näkymät

Tulevaisuudessa yhä useammat tuotteet ja palvelut tarvitsevat langattoman yhteyden toimiakseen kunnolla. Lähitulevaisuudessa aloitetaan LTE-advanced-verkon ja Wimax 2 verkon rakentaminen, joita voi jo kutsua täysin virallisiksi 4G-verkoiksi. Näiden myötä nopeuksien odotetaan kasvavan jopa Gbit/s nopeusluokkiin. [12]

Syrjäseuduille ja saaristoon on luvassa helpotusta hieman pidemmän kantaman omaavan 700 MHz:n taajuuden vapautuminen operaattoreiden käytettäväksi. Kyseisestä taajuudesta pidetään jälleen huutokauppa, jonka ajankohtaa ei vielä opinnäytetyön kirjoittamishetkenä ole päätetty. Kyseisen taajuuden televisiokanavanipun uudelleen järjestely alkaa keväällä 2015 ja se on tarkoitus saada päätökseen vuoden 2016 loppuun mennessä. [13]

Sonera ja DNA perustivat yhdessä yhtiön nimeltä Suomen Yhteisverkko Oy ja se toimii Pohjois- ja Itä-Suomen alueella. Nämä operaattorit voivat nyt yhdistää 800 MHz:n taajuudet ja saada täten 20 MHz:n kaistanleveyden. Tämä tarkoittaa käytännössä myös kaksinkertaista tiedonsiirtonopeutta näillä alueilla. [14]

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä tuli selkeästi esille 800 MHz:n haavoittuvuus maaston muodoille ja muille esteille, jotka sijaitsevat loppukäyttäjän ja tukiaseman välissä. Tiedonsiirtonopeudet putosivat noin puolella, kun mitattavan tukiaseman välissä oli kiinteä este. Myös metsän vaikutus näkyi tuloksissa heikentyneenä latausnopeutena, mutta ei läheskään niin suurena kuin kiinteä este. Sään vaikutus oli osittain hieman yllätys, vaikka sen vaikutus ei pitänytkään olla kovin suuri. Säällä ei tuntunut olevan mitään vaikutusta latausnopeuteen näillä etäisyyksillä. Tämä voi osittain johtua siitä, että mittauspäivänä sade oli kevyttä tihkusadetta.

LÄHTEET

- [1] [www-dokumentti], viitattu 15.1.2015
<http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tilastot/aluejaot/kuntien-pinta-alat-ja-asukastiheydet/Sivut/default.aspx>
- [2] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <http://elisa.fi/vertaaverkkoja/historia>
- [3] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <https://www.linkedin.com/pulse/20140728195228-332557191-why-3-9g-lte-is-called-4g-lte>
- [4] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <http://electronicdesign.com/content/evolution-lte>
- [5] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- [6] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <https://www.dna.fi/dna-oy/historia>
- [7] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <http://corporate.elisa.fi/elisa-oyj/elisa-oyj/historia/>
- [8] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <http://www.telasonera.com/fi/konserni/historia/>
- [9] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015
<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radiotaajuuksienkaytto/taajuushuutokauppa.html>
- [10] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015
<https://www.viestintavirasto.fi/viestintavirasto/ajankohtaista/2013/taajuushuutokauppa4g-taajuuksilleonpaattynyt.html>
- [11] [www-dokumentti], viitattu 14.4.2015 <https://blogit.jamk.fi/metsaapuilta/tag/eranto/>
- [12] [www-dokumentti], viitattu 15.4.2015 <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- [13] [www-dokumentti], viitattu 15.4.2015
<https://www.viestintavirasto.fi/tvradio/teravapiirtoelhd/mitasiirtymamerkitsee.html>
- [14] [www-dokumentti], viitattu 15.4.2015 <http://yhteisverkko.fi/suomen-yhteisverkko/>
- [15] [ohjelma], <https://filezilla-project.org/download.php?type=server>
- [16] [www-dokumentti], viitattu 28.4.2015 http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-E.pdf
- [17] [opinnäytetyö], viitattu 29.4.2015
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74604/Juhala_Arttu.pdf?sequence=1
- [18] [opinnäytetyö], viitattu 29.4.2015
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44913/Toller.Markus.pdf?sequence=1>
- [19] [opinnäytetyö], viitattu 29.4.2015
https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/niemela_radiosignaalin_vaimennusmittauksia.pdf

Panel 806-960
 Dual Polarization X
 Half-power Beam Width 65°
 Adjust. Electr. Downtilt 0°-10°

KATHREIN
 Antennen · Electronic

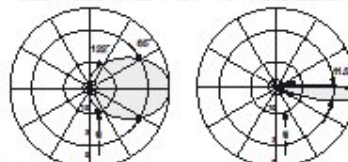
set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

XPol Panel 806-960 65° 16.3dBi 0°-10°T

Type No.	800 10304		
Frequency range	806-960		
	806 - 866 MHz	824 - 894 MHz	880 - 960 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Average gain (dBi)	15.6 ... 15.8 ... 15.5	15.7 ... 16.1 ... 15.7	16 ... 16.3 ... 15.9
Tilt	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°	0° ... 5° ... 10°
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	69°	67°	65°
Front-to-back ratio, copolar	> 25 dB	> 25 dB	> 25 dB
Cross polar ratio			
Main direction	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB
Sector	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	12.5°	12°	11.5°
Electrical tilt	0°-10°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° ... 3° ... 6° ... 10° T 15 ... 14 ... 12 ... 12 dB	0° ... 3° ... 6° ... 10° T 15 ... 15 ... 15 ... 14 dB	0° ... 3° ... 6° ... 10° T 15 ... 15 ... 15 ... 14 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Isolation, between ports	> 30 dB		
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	400 W (at 50 °C ambient temperature)		

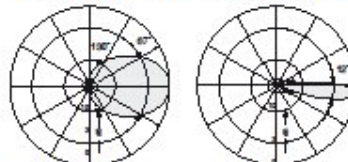


880 - 960 MHz: +45°/-45° Polarization



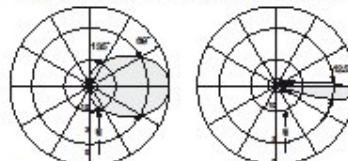
Horizontal Pattern Vertical Pattern
 0°-10° electrical downtilt

824 - 894 MHz: +45°/-45° Polarization

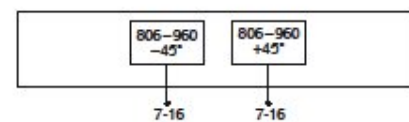


Horizontal Pattern Vertical Pattern
 0°-10° electrical downtilt

806 - 866 MHz: +45°/-45° Polarization



Horizontal Pattern Vertical Pattern
 0°-10° electrical downtilt



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Rearside, pointing downwards
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Weight	13 kg
Wind load	Frontal: 300 N (at 150 km/h) Lateral: 195 N (at 150 km/h) Rearside: 660 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1976 x 292 x 192 mm
Height/width/depth	1694 / 259 / 99 mm

886.2847b Subject to alteration.