

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma

Ari-Matti Ikonen
Anssi Turunen

MOBIILI-WIMAX-KUULUVUUSMITTAUKSET

Opinnäytetyö
Lokakuu 2013



OPINNÄYTETYÖ
Lokakuu 2013
Tietotekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)

Ari-Matti Ikonen, Anssi Turunen

Nimeke

Mobiili-WiMAX-kuuluvuusmittaukset

Toimeksiantaja

Telekarelia Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä mobiili-WiMAXia koskien kuuluvuus- ja palvelunlaatumittauksia sekä teoreettista vertailua mobiili-WiMAXin ja kilpailevan LTE-tekniikan välillä. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Telekarelia Oy:lle.

Työssä käydään läpi yleisesti langattomien puhe- ja dataverkkojen historiaa sekä kehitystä nykypäivään. Nykypäivän osalta pureudutaan syvemmälle mobiili-WiMAXin tekniikkaan sekä kilpailevaan LTE-tekniikkaan. Työssä pohditaan myös tulevaisuuden näkymiä ja kuinka päivittäminen tulevaisuuden tekniikoihin tulisi tapahtumaan.

Mobiili-WiMAX on WiMAX Forumin kehittämä 802.16e-standardiin perustuva langaton laajakaistatekniikka, joka julkaistiin vuonna 2005. Tämän jälkeen standardille on tullut useita uusia päivityksiä, joilla on lisätty uusia ominaisuuksia ja paranneltu tekniikan toimivuutta.


Mittaustulokset tukevat opinnäytetyössämme teoriaa. Telekarelialla niitä käytettiin myyntityön apuna. Mittaustuloksista tehtiin erilaisia havaintoja, joiden avulla teimme työssä erilaisia johtopäätöksiä aiheeseen liittyen. Mittaukset suoritettiin Joensuun, Kiteen ja Lieksan alueilla.

Kieli
suomi

Sivuja 63
Liitteet 12
Liitesivumäärä 22

Asiasanat

mobiili-WiMAX, 4G, mittaukset

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS October 2013 Degree Programme in Information Technology Karjalankatu 3 FIN 80200 JOENSUU FINLAND Tel. 358-13-260 6800
Author(s) Ari-Matti Ikonen, Anssi Turunen	
Title Mobile WiMAX Coverage Measurements Commissioned by Telekarelia Oy	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to make a practical section by coverage and quality of service measurements with Mobile WiMAX, and theoretical comparison between Mobile WiMAX and LTE (Long Term Evolution). This thesis was commissioned by Telekarelia Oy.</p> <p>The thesis includes history and development of radio and mobile technologies. It has further technical information and analysis about Mobile WiMAX and its competitor LTE. There is also an outlook to the future, and how updating from Mobile WiMAX to future technologies could be implemented.</p> <p>Mobile WiMAX is a wireless technology based on the 802.16e standard which was published in 2005. Since then, it has got several new standard updates which have upgraded its features and performance.</p> <p>The results of the measurements were used as help in operator broadband advertising and selling. In the thesis they were beneficial for analyses and considerations that were made. The measurements were made in the areas of Joensuu, Kitee and Lieksa.</p>	
Language Finnish	Pages 63 Appendices 12 Pages of Appendices 22
Keywords Mobile WiMAX, 4G, measurements	

Sisältö

1	Johdanto	10
2	Toimeksianto	11
3	Telekarelia Oy	12
4	Matkapuhelinsukupolvet	12
4.1	Analogiset matkapuhelinverkot	12
4.2	Digitaaliset matkapuhelinverkot	13
4.3	Teknologiat ennen neljättä matkapuhelinsukupolvea	14
4.3.1	GPRS	14
4.3.2	EDGE	15
4.3.3	UMTS	16
4.3.4	HSPA	16
5	WiMAX	17
5.1	Käyttökohteet	18
5.2	WiMAX-standardit	18
6	Mobiili-WiMAX	20
6.1	Käyttökohteet	21
6.2	Modulaatiot	22
6.3	Verkon rakenne	24
6.4	Päätelaitteet	26
6.5	Moniantennitekniikka	27
6.6	Liikkuvuus	30
6.7	Virransäästö	31
6.8	Palvelun laatu	31
7	4G-verkot Suomessa	33
7.1	Long Term Evolution	34
7.2	Tekninen vertailu	35
8	Mittaukset	37
8.1	Käytettävä laitteisto	37
8.2	Mittaustapa	40
8.3	Signaalin voimakkuuteen ja peittoon vaikuttavat asiat	41
8.4	Kuuluvuusmittaukset	42
8.4.1	Kitee	44
8.4.2	Lieksa	45
8.4.3	Joensuu	45
8.5	Palvelunlaatumittaukset	46
8.6	Liikkuvuusmittaukset	47
8.7	Tulosten analysointi ja hyödyntäminen	47
9	Tulevaisuuden näkymät	50
9.1	WiMAX 2	51
9.2	LTE Advanced	52
10	Pohdinta	54
10.1	Työnjako	55
10.2	Tavoitteet ja tulokset	55
	Lähteet	57

Liitteet:

Liite 1	Kitee 5.10.2012 kuuluvuusmittaukset: tulokset
Liite 2	Kitee 5.10.2012 kuuluvuusmittaukset: kartta
Liite 3	Kitee: Telekarelian simuloitu kuuluvuuskartta
Liite 4	Lieska 12.11.2012 kuuluvuusmittaukset: tulokset
Liite 5	Lieska 12.11.2012 kuuluvuusmittaukset: kartta
Liite 6	Lieska: Telekarelian simuloitu kuuluvuuskartta
Liite 7	Joensuu 23.1.–24.1.2013 kuuluvuusmittaukset: tulokset
Liite 8	Joensuu 23.1.–24.1.2013 kuuluvuusmittaukset: kartta
Liite 9	Joensuu: Telekarelian simuloitu kuuluvuuskartta
Liite 10	Joensuu: simuloitu kartta ja mittaustulokset
Liite 11	Joensuu 28.5.–29.5.2013 palvelunlaatumittaukset: tulokset
Liite 12	Joensuu 28.5.–29.5.2013 palvelunlaatumittaukset: kartat

Käsitteet

0G,1G,2G	Matkapuhelinsukupolvet ennen 3G:tä
3G	Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologiat
3GPP	3rd Generation Partnership Project, usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio
4G	Neljännän sukupolven matkapuhelintekniikat
802.16	WiMAX-standardien joukko
AAA	Authentication, Authorization, Accounting. Protokolla, jolla voidaan tunnistaa toinen osapuoli tietoverkossa
Active Set	FBSS- ja MDHO-yhteydenvaihdossa käytetty tukiasemien ryhmä
ASN-GW	Access Service Network Gateway, Mobiili-WiMAX-verkon referenssimallin pääsyverkon yhdyskäytävä
ASP	Application Service Provider, verkossa tarjottavat palvelut
BS	Base Station, verkon tukiasema
BSID	Base Station Identifier, tukiaseman tunniste
CINR	Carrier to Interference and Noise Ratio, Signaali-kohina-häiriösuhde
CNS	Connectivity Service Network, liityntäverkko
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol, päätelaitteille IP-osoitteet jakava protokolla
DSL	Digital Subscriber Line, puhelinlinjoilla toteutettu tietoliikenneyhteys, yleisin DSL-yhteyden tyyppi on ADSL
Dual Carrier	HSPA-teknologia, jossa käytetään kahta mobiilidatakanavaa yhtä aikaa, kutsutaan myös nimellä Dual Cell
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution, matkapuhelinten pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tekniikka
FBSS	Fast Base Station Switching, tekniikka vaihdettaessa tukiasemasta toiseen
FDD	Frequency Division Duplexing, taajuusjakoinen dupleksointi
FTP	File Transfer Protocol, tiedonsiirtoprotokolla
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä

GPRS	General Packet Radio Service, GSM-verkon pakettikyt-kentäinen datansiirtopalvelu
GSM	Global System for Mobile Communications, maailmanlaajuisesti käytössä oleva matkapuhelinjärjestelmä
Handover	Päätelaitteen vaihto tukiasemien välillä, tunnetaan myös käsitteellä handoff
HH	Hard Handover, yksi mobiili-WiMAXin yhteydenvaihtotekniikoista
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access, UMTS-pohjaista 3G-verkon latausnopeutta lisäävä yhteyskäytäntö
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access, lähetysnopeutta nopeuttava ja lähetyslatenssia laskeva tekniikka
Idle Mode	Toinen mobiili-WiMAXin virransäästötiloista
IP	Internet Protocol, TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla, joka huolehtii IP-pakettien toimittamisesta perille
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö, jonka yksi tärkeimpiä tehtäviä on standardien määrittely
ITU	International Telecommunication Union, kansainvälinen televiestintäliitto
LOS	Line-of-sight, radiosignaalin esteetön tie lähettimen ja vastaanottimen välillä
LTE	Long Term Evolution, laajalti käytössä oleva nykyisen määritelmään mukaan 4G-tekniikka
LTE-A	LTE Advanced, LTE-tekniikasta kehitetty paranneltu versio
MAC-kerros	Kaikkien 802-standardien siirtoyhteyshierarkian kerros
MAN	Metropolitan Area Network, yhden tai useamman kaupungin alueella toimiva verkko
MDHO	Macro Diversity Handover, yksi yhteydenvaihtotekniikoista
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output, signaalin lähetys ja vastaanotto useammalla antennilla
MIMO-A	MIMO Matrix A, sama signaali lähetetään useammasta antennista samanaikaisesti. Käytetään myös nimeä STC ja Diversity Coding
MIMO-B	MIMO Matrix B, käytetään myös nimitystä tilallinen limitys (Spatial Multiplexing). MIMO-antenniteknologiassa käytetty tapa,

jossa signaali jaetaan eri datavirtoihin ja lähetetään useilla antenneilla vastaanottajalle

Mobiili-WiMAX	Mobile Broadband Wireless Access System, WiMAX-tekniikkaan perustuva liikkuva langaton laajakaista
Modulaatio	Modulaatiot ovat menetelmiä, joilla informaatio lähetetään ja vastaanotetaan
MS	Mobile Station, verkon liikkuva päätelaite
Multipath	Signaalilla useampi reitti kohteeseensa
NAP	Network Access Provider, liityntäverkon tarjoaja
NLOS	Non-line-of-sight, ei näköyhteyttä tukiaseman ja päätelaitteen välillä
NRM	Network Reference Model, WiMAX Forumin määrittelemä mobiili-WiMAX-verkon referenssimalli
NSP	Network Service Provider, palveluntarjoaja
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing on modulointi, joka perustuu tiedon siirtoon lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtäaikaan
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access, OFDM-kanavointiversio monen käyttäjän ympäristöihin
Overhead	Tiedon siirrossa on hyötykuormaa (siirrettävää dataa) ja overheadia, joka liittyy hyötydatan kuljettamisen ohjausliikenteeseen ja virheidenkorjaukseen
Paging	Päätelaitteen tukiasemilta tulevien hakuviestin kuuntelu
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, modulointitekniikka, joka yhdistää vaihemodulaation ja amplitudimodulaation
QoS	Quality of Service, palvelun laatu
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, nelivaiheinen vaiheavainnus
Roaming	Verkkovierailu
RSSI	Received Signal Strength Indication, vastaanotetun signaalin voimakkuus
SC	Single Carrier, datan lähettäminen yhdellä kantoaallolla
SC-FDMA	Single-carrier Frequency-Division Multiple Access, yhtä kantoaaltoa käyttävä taajuusmonikäyttötekniikka

SIMO	Single Input and Multiple Output, signaalin lähetys yhdellä antennilla ja vastaanotto useammalla
Sleep Mode	Mobiili-WiMAXissa käytetty toinen virransäästötiloista
SNR	Signal-to-noise ratio , signaali-kohinasuhde kuvaa vastaanotetun signaalin laatua
SS	Subscriber Station, kiinteästi asennettu asiakaspääte
STC	Space-Time Coding, aika-tila-koodaus
TDD	Time-Division Duplex, aikajakoinen dupleksointi
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System, kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia
VoIP	Voice over IP, IP-puhe
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access, langaton laajakaistatekniikka
WiMAX 2	WiMAX Release 2.0, WiMAX-tekniikan seuraava versio
WiMAX Forum	Operaattorien, verkkolaittevalmistajien ja muiden alan toimijoiden yhteenliittymä
X.25	Protokolla pakettikytkentäisille WAN-verkoille, nykyään IP-protokolla korvannut lähes kokonaan

1 Johdanto

Kannettavien laitteiden yleistymisen myötä (älypuhelimet, tabletit, kannettavat tietokoneet) tarve langattomille yhteyksille on kasvanut hurjasti 2000-luvun loppupuolelta lähtien. Tämä on vaikuttanut langattomia liittymiä tarjoavien operaattorien toimintaan. Operaattorit pyrkivät rakentamaan ja uudistamaan tällä hetkellä olemassa olevia 3G-verkkojaan.

Datansiirron kannalta 3G-yhteydet ovat kuitenkin ongelmallisia, sillä myös puhelut kulkevat samassa verkossa ja ne jakavat saman kaistan. 3G-liittymiä on myös markkinoitu ”langaton laajakaista” -nimikkeellä, joten monet ovat ostaneet niitä talouden ainoaksi Internet-yhteydeksi. Puheluilla on korkeampi tärkeysaste, joten tämä aiheuttaa verkkoon huomattavaa viiveen ja nopeuden vaihtelua datayhteyden käyttäjille. Tämä on ongelma erityisesti, jos saman 3G-maston alueella on paljon sekä puheluita että datasiirtoa.

Opinnäytetyössämme tehtävänäimme oli tehdä mobiili-WiMAX-kuuluvuusmittauksia Joensuussa, Kiteellä ja Lieksassa. Mittausten avulla pystyttiin kartoittamaan heikomman kuuluvuuden alueita ja peittoalueita sekä vertaamaan kenttämittauksia Telekarelian simuloituihin kuuluvuuskarttoihin. Tulosten pohjalta tehtiin johtopäätöksiä tekniikan toimivuudesta ja verrattiin sitä teoriapohjaiseen aineistoon, jota etsittiin kirja- ja verkkolähteistä. Mobiili-WiMAXia ja LTE:tä verrattiin teoriapohjalta teknisesti keskenään. Kyseisten tekniikoiden tilannetta markkinoilla tarkasteltiin myös Suomen näkökulmasta katsoen.

Kuuluvuusmittausten lisäksi teimme palvelunlaatutestejä Joensuun alueella. Ne suoritettiin käyttäen VoIPia, eli IP-puhejärjestelmää, Telekarelian verkossa. Palvelunlaatutesteillä tarkoitus oli analysoida verkon toimivuutta heikomman kuuluvuuden alueilla eli miten reaaliaikaisuutta vaativat palvelut toimivat huonoissa signaaliolosuhteissa.

Operaattorit ovat TeliaSoneran ja Elisan johdolla rakentaneet nopeampia langattomia verkkoja ensin olemassa olevien 3G-verkkojen pohjalta, joita ovat esimerkiksi kahta mobiilidatakanavaa yhtä aikaa käyttävä Dual Carrier UMTS -verkko. Joulukuussa 2010 kansainvälinen televiestintäliitto ITU ilmoitti, että myös HSPA+, LTE ja WiMAX luetaan 4G-määritelmän piiriin [1]. Pohjois-

Karjalan alueella toimiva PPO-konserniin kuuluva Telekarelia Oy on pyrkinyt omalta osaltaan tarjoamaan markkina-alueellaan langattomia Laajakaista 4G -verkon liittymiä, joita se on rakentanut pohjautuen 802.16e-standardiin eli mobiili-WiMAXiin.

2 Toimeksianto

Opinnäytetyön toimeksiannon saimme ohjaajamme Eero Väisäsen avustuksella Telekarelia Oy:ltä lokakuussa 2012. Telekarelialla yhteyshenkilönämme toimi Telekarelian kehitysjohtaja Sami Peltonen. Opinnäytetyön toiminnallisena osuutena oli tehdä käytännön kenttätestejä Telekarelian 4G-verkon nopeuksista ja kuuluvuuksista Kiteen, Lieksan ja Joensuun alueilla. Opinnäytetyötä aloittaessamme oli kuitenkin jo selvää, että tekniikkana mobiili-WiMAX on vain välivaihe ennen LTE-tekniikkaan siirtymistä. Opinnäytetyön alkuperäinen suunnitelma oli verrata näiden kahden tekniikan, mobiili-WiMAXin ja LTE:n, teknisiä eroavaisuuksia käyttäen apuna suoritettuja mittauksia mainituilla paikkakunnilla. Lopuksi kiinnitimme vielä huomiota langattomien verkkojen tulevaisuuden näkymiin.

Loppuvuoden 2012 aikana Elisa osti Telekarelian emoyhtiön osakeenemmistön, mikä vaikutti aikatauluun ja erityisesti tekniikan päivitykseen, sillä kilpailuviranomaisen päätöstä jouduttiin odottamaan vuoden 2013 huhtikuun loppuun asti [2]. Tällöin selvisi, ettei mobiili-WiMAX-tekniikkaa ehdittäisi päivittämään LTE:hen alkuperäisessä aikataulussa, joten LTE-mittauksia ei ollut mahdollista suorittaa.

Tämän vuoksi opinnäytetyön aihealue muuttui siltä osin, että LTE-tekniikkaa käsiteltäisiin vain teoriapohjalta ja tekniikoiden väliseen vertailuun ei keskityttäisi alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Muutoksista johtuen LTE:n ja mobiili-WiMAXin välisen vertailun tilalle päätettiin tehdä käytännön palvelunlaatuksitestejä, joilla pystyttiin syventämään kuuluvuusmittauksista saatuja tuloksia. Tulosten avulla pystyttiin etsimään raja-alueita, joilla yhteyden toimivuus palvelunlaadullisesti tippuu käyttökeltvottomalle tasolle.

3 Telekarelia Oy

Telekarelia Oy on Osuuskunta PPO -konserniin kuuluva yritys, joka toimii itäisessä Suomessa laajalla alueella useissa eri kunnissa. Telekarelia on Pohjois-Karjalassa syntynyt yritys, jolla on hyvin pitkä historia alueen teleoperaattoritoiminnassa. Yritys on alkujaan syntynyt jo vuonna 1905, kun ensimmäinen kantayhtiö Kontiolahden Kirkonkylän Telefooni Oy perustettiin. Varsinaisesti nykyisen muotonsa Telekarelia sai alkunsa seitsemän eri puhelinyhtiön fuusioituttua alueella yhdeksi suureksi yritykseksi [3].

Telekarelian toimenkuvaan verkkopuolella kuuluvat tietoliikenneverkkojen suunnittelu, rakentaminen ja ylläpito. Yrityksille tarjottavia palveluja ovat tietoliikenne-, puheliittymä-, neuvottelu-, turva-, konesali-, web- ja domain-palvelut [4]. Yksityisasiakkaille olevia palveluja ovat Internet-, puhe-, TV- ja viihdeliittymät sekä turvapalvelut. Tavoitteena on asiakaslähtöinen toimintamalli, missä asiakkaiden toiveet sekä tarpeet ovat ensisijaisia [5].

Vuoden 2013 aikana Telekarelia yhdistyi Elisa Oyj:n kanssa, kun Elisa osti PPO-konsernin itselleen [6]. Kaupan myötä Elisa hankki määräysvallan myös Telekarelia Oy:ssä. Elokuun ylimääräisessä yhtiökokouksessa päätettiin Telekarelia Oy:n sulautuminen Elisa Oyj:hin. Sulautumisella ei tule olemaan välitöntä vaikutusta Telekarelian palveluihin [7]. Sulauttamisen tavoitteena on luoda alueelle entistä innovatiivisempia ja kehittyneempiä palveluita.

4 Matkapuhelinsukupolvet

Matkapuhelinsukupolvet voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen niissä käytetyn tekniikan osalta: analogisiin ja digitaalisiin teknologioihin. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi määritelmiä, joiden mukaan eri matkapuhelinteknologiat jaotellaan eri sukupolviin kuuluviksi.

4.1 Analogiset matkapuhelinverkot

Matkapuhelintekniikoiden aiempia sukupolvia olivat 0G, 1G, 2G ja 3G, joista 3G on edelleen laajalti käytössä. Nollannen sukupolven matkapuhelinverkot olivat

analogisia radiopuhelinverkkoja, jotka toimivat ainoastaan oman tukiasemansa alueella, ja yhteys katkesi siirryttäessä toiselle alueelle. Yhteydet toimivat aluksi niin, että samalla kanavalla saattoi olla useita kymmeniä käyttäjiä ja yhteyksiä ei voitu muodostaa yleiseen puhelinverkkoon. [8, s. 26–27.]

1G oli edelleen analogisia tekniikoita sisältävä sukupolvi. Ensimmäiselle sukupolvelle tärkein uudistus nollanteen sukupolveen verrattuna oli sen tekniikka, joka mahdollisti saumattoman siirtymisen tukiasemalta toiselle, eli käyttäjä pysyi liikkumaan vapaasti kaikkien verkon solujen luomalla alueella säilyttäen yhteyden. Puheluita pystyttiin myös yhdistämään matkapuhelinverkosta yleiseen puhelinverkkoon. [8, s. 26–27.]

4.2 Digitaaliset matkapuhelinverkot

Toisen sukupolven matkapuhelinteknologioissa siirryttiin digitaaliseen aikakauden. Aluksi teknologiat olivat piirikytkeäisiä, mutta kehittyivät lopulta pakettikytkentäisiksi. Digitaalisuus toi kehittyessään puhelinverkkoihin mahdollisuuden suorittaa tavallisten puheluiden lisäksi datapuheluita, lähettää tekstiviestejä ja käyttää pakettidatapalveluita, jos päätelaite sitä tuki. Pakettidatapalveluita ovat esimerkiksi WAP- ja Internet-yhteydet. [8, s. 27–28.]

Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologioiden määritelmänä ovat suuremmat bittinopeudet aiempiin 2G-teknologioihin verrattuna, yhteensopivuudella mahdollistettu liikkuvuus eri operaattoreiden ja maiden välillä, tuki laitteen maantieteellisen sijainnin määrittelylle (GPS) sekä tuki multimediapalveluille. Suuremmat siirtonopeudet mahdollistivat multimediapalvelut, kuten videopuhelut ja Internetin sujuvan selaamisen. [8, s. 29.]

Neljännän sukupolven matkapuhelinverkoissa tavoitteena oli edelleen kehittää 3G-verkkoja nopeampia siirtonopeuksia. 3G- ja 4G-teknologioiden rajaaminen on ollut silti hieman hankalaa, sillä 3G-teknologioita on jatkokehitetty nopeudeltaan suuremmiksi ja mainostettu palveluntarjoajien puolelta 4G-teknologioiksi. Näitä teknologioita ovat LTE- ja mobiili-WiMAX, jotka olivat alkuperäisen määritelmän mukaan 4G:n esiversioita. ITU (International Telecommunication Union) on kuitenkin muuttanut määrittelyn tarkkuutta [1] ja laskee nykyään nämä teknologiat 4G:n yhteyteen. Neljäs sukupolvi mahdollistaa entistä paremmat ja kehittä-

tyneemmät multimediaspalvelut mobiililaitteille. Tällaisia palveluita ovat esimerkiksi erilaiset videoiden suoratoistopalvelut ja muut suurta siirtonopeutta vaativat verkkosovellukset. [8, s. 29–30.]

4.3 Teknologiat ennen neljättä matkapuhelinsukupolvea

Yleisimpiä Suomessa käytössä olevia mobiiliverkkotekniikoita ovat GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE ja mobiili-WiMAX (taulukko 1) [9]. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi näiden teknologioiden ominaisuuksia ja käytön laajuutta.

Taulukko 1. Langattomat verkkoteknologiat. [63]

		Teoreettinen maksiminopeus	
Sukupolvi	Tekniikka	Lataus	Lähetys
2.5G	GPRS	114 Kb/s	20 Kb/s
2.75G	EDGE	384 Kb/s	60 Kb/s
3G	UMTS	384 Kb/s	64 Kb/s
	W-CDMA	2 Mb/s	153 Kb/s
	EV-DO Rev. A	3.1 Mb/s	1.8 Mb/s
	HSPA 3.6	3.6 Mb/s	348 Kb/s
	HSPA 7.2	7.2 Mb/s	2 Mb/s
Pre-4G	WiMAX	100 Mb/s+	56 Mb/s
	LTE	100 Mb/s+	50 Mb/s
	HSPA+	56 Mb/s	22 Mb/s
	HSPA 14	14 Mb/s	5.7 Mb/s
4G	WiMAX 2 (802.16m)	100 Mb/s liikkuva/ 1 Gb/s kiinteä	60 Mb/s
	LTE Advanced	100 Mb/s liikkuva/ 1 Gb/s kiinteä	500 Mb/s

4.3.1 GPRS

Toisen matkapuhelinverkkosukupolven GPRS-teknologia (General Packet Radio Service) on GSM-verkkoon kehitetty pakettikytkentäinen datansiirtopalvelu. GPRS on tavallaan eräänlainen Internetin laajennus GSM-verkkoon. Näin voidaan sanoa, koska GPRS-verkko näkyy Internetin muihin verkkoihin yhtenä

aliverkkona. GPRS:n avulla saatiin luotua GSM-verkkoon pakettikytkentäisiä yhteyksiä. [10, s. 158.]

Pakettikytkentäisyys toi piirikytkentäisiin yhteyksiin verrattaessa suuren edun, että kaistaa ei enää varattu koko ajan, vaan yhteys muodostetaan vain dataa siirrettäessä. Siirtonopeudet GPRS-verkossa ovat päätelaitteelle teoriassa 114 Kb/s ja päätelaitteelta verkkoon 20 Kb/s (taulukko 1). Todellisuudessa arvot jäävät kuitenkin noin 30–45 Kb:iin/s latausnopeuteen ja 15 Kb:iin/s lähetysnopeuteen. IP-pohjaisten yhteyksien lisäksi GPRS:ssä on määritetty myös muita menetelmiä. Näitä ovat esimerkiksi X.25-protokollaa käyttävä yhteysmahdollisuus ulkoisiin verkkoihin. [10, s. 158–159]

GPRS:n alhaiset datansiirtonopeudet riittävät hyvin muun muassa kaikkeen tekstipohjaiseen liikennöintiin verkossa, kuten sähköpostin lukemiseen ja viestien kirjoittamiseen. Nykyään GPRS-verkko on vielä käytössä alueilla, missä peittoaluetta ei ole paremmille tekniikoille. Käyttäjälle GPRS-verkko näkyy huomattavasti heikompana nopeutena, mutta muuta eroavaisuutta ei nykyisissä päätelaitteissa huomaa.

4.3.2 EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) on GSM-verkkoon nopeudeltaan paremmaksi kehitetty teknologia GPRS:ään verrattuna. EDGE-tekniikka tarjoaa suhteellisen hyvät datansiirtonopeudet uuden modulointitekniikkansa ansiosta. Nopeita datasiirtoyhteyksiä tarvittaessa se mahdollistaa GSM-verkon käyttämisen alueilla, minne UMTS-verkko ei ulotu. Palveluntarjoajat käyttävät nykyään EDGE-teknologiaa takaamaan verkon palvelun jatkuvuutta UMTS-verkon raja-alueilla ja tarjoamaan yhteyksiä käyttäjilleen UMTS-peittoalueiden ulkopuolella. [10, s. 178.]

EDGE-teknologiaa markkinoidaan usein 2.5G- tai 2.75G-nimikkeillä, sillä se on runsaasti jatkokehitetty toisen sukupolven matkapuhelinteknologia, mutta ei vielä varsinaisesti 3G:ksi määriteltävä teknologia. Datansiirroltaan EDGE pääsee kuitenkin parhaimmillaan lähelle 3G-nopeuksia. Teoreettiset latausnopeudet ovat kahdeksan rinnakkaisen aikavälin käytöllä 384 Kb/s päätelaitteelle ja pää-

telaitteelta Internetiin 60 Kb/s (taulukko 1). Käyttäjien todelliset nopeudet jäävät kuitenkin noin puoleen näistä, eli 175 Kb/s ja 30 Kb/s.

EDGE jakaa samat radorajapinnan resurssit GPRS-teknologian tavoin GSM-käyttäjien kesken. EDGEN modulaatiotekniikka vaatii jonkin verran laitteistopäivityksiä GSM-verkkoon ja ohjelmistotason muokkauksia verkkoon sekä protokollamäärittelyihin. Päätelaitteet oli myös uusittava EDGE-teknologian tullessa ensimmäisiä kertoja käyttöön, sillä vanhoja päätelaitteita ei yleensä voinut päivittää pelkästään ohjelmistopohjaisesti yhteensopiviksi EDGE-teknologian kanssa. [10, s. 180–181.]

4.3.3 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) on kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia, joka on suunniteltu GSM:n seuraajaksi. UMTS-verkon suunnittelussa oleellisimpana lähtökohtana oli saada verkon palvelun laatu samalle tasolle kuin kiinteissä laajakaistayhteyksissä. Muita tavoitteita olivat tuki piiri- ja pakettikytkentäisille yhteyksille sekä radiokaistan mahdollisimman tehokas käyttö. [11, s. 94–95.]

Alun pitäen UMTS-verkossa oli tavoitteena saavuttaa jopa 2 Mb/s siirtonopeus paikallaan olevalle päätelaitteelle [11, s. 95]. Teoreettisena maksimina perusverkossa oli kuitenkin vain 384 Kb/s siirtonopeus päätelaitteelle, ja päätelaitteelta verkkoon 64 Kb/s (taulukko 1). Yleisesti nopeudet jäivät 100–250 Kb/s latausnopeuteen ja keskimäärin 30 Kb/s lähetysnopeuteen. UMTS-teknologia paransi datansiirtonopeuksien lisäksi latenssia, sillä sen edeltäjissä GPRS:ssä ja EDGEssä tosielämän tilanteissa viiveet vaihtelivat 500 ja 3000 millisekunnin välillä, kun taas UMTS:ssa vasteaika on noin 200 millisekuntia [12].

4.3.4 HSPA

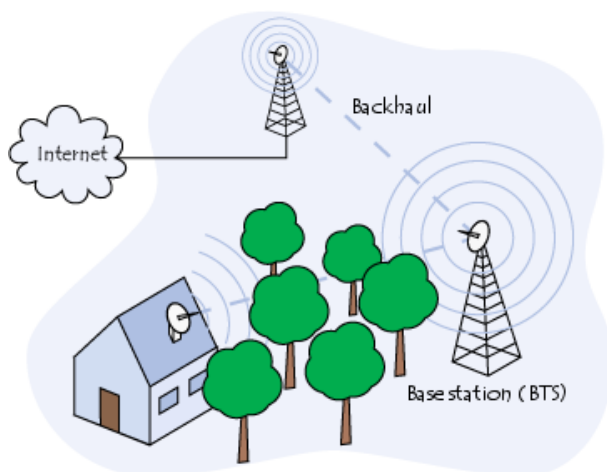
UMTS-teknologiaa on uudistettu useilla eri päivitysversioilla, joilla nopeutta on pystytty parantamaan ja ominaisuuksia lisäämään. Näitä päivityksiä on tullut 6 kappaletta, joista tärkeimmät kehittyneempiä nopeuksia mahdollistaneet päivitysversionot ovat olleet Release 5 ja 6, jotka toivat tuen HSDPA- ja HSUPA -

tekniikoille, sekä Release 7 ja 8, jotka mahdollistivat moniantennitekniikan ja tuen Dual Carrier -tekniikalle. [11, s. 95–98; 13.]

UMTS-teknologiaa on kehitetty eteenpäin HSDPA- ja HSUPA-tekniikoiden avulla. HSDPA parantaa datan siirtonopeutta laitteelle päin ja HSUPA-tekniikka laitteelta verkkoon päin. Tekniikat pienentävät myös vasteaikoja huomattavasti. Moniantennitekniikka mahdollistaa useiden lähetyssignaalien vastaanottamisen ja lähettämisen useiden antennien avulla. Tämä parantaa yhteysnopeuksia yhden antennin tekniikoihin nähden. Dual Cell, toiselta nimeltään yleisesti Dual Carrier (DC-HSDPA), mahdollistaa tavallaan kaistan kahdentamisen ja näin ollen myös teoreettisen bittinopeuden tuplaamisen tietoliikenneyhteydessä. Dual Carrier HSPA -tekniikoilla päästään 4G-nopeusluokkiin. [11, s. 95–98; 13.]

5 WiMAX

WiMAX-tekniikalla (Worldwide Interoperability for Microwave Access) pyritään tarjoamaan datanopeuksiltaan kaapelimodeemi- ja DSL-yhteyksiä vastaavia nopeuksia langattomasti. Toimintaperiaate on samanlainen kuin WLAN-verkossa, mutta se on suunniteltu kantomatkaltaan selvästi pidempiin yhteyksiin (kuva 1). WiMAX-verkon kantomatka voi olla tukiasemalta jopa useita kymmeniä kilometrejä päätelaitteelle. Tällöin yhteys vaatii kuitenkin suoran näköyhteyden tukiasemalle. Kantamaan vaikuttavat huomattavasti fyysiset esteet ja hankalat sääolosuhteet. Suurilla välimatkoilla käytetään yleensä lisäantennia, jolla vastaanotetun signaalin laatua saadaan parannettua huomattavasti. [14.]



Kuva 1. WiMAX-periaate. [15]

5.1 Käyttökohteet

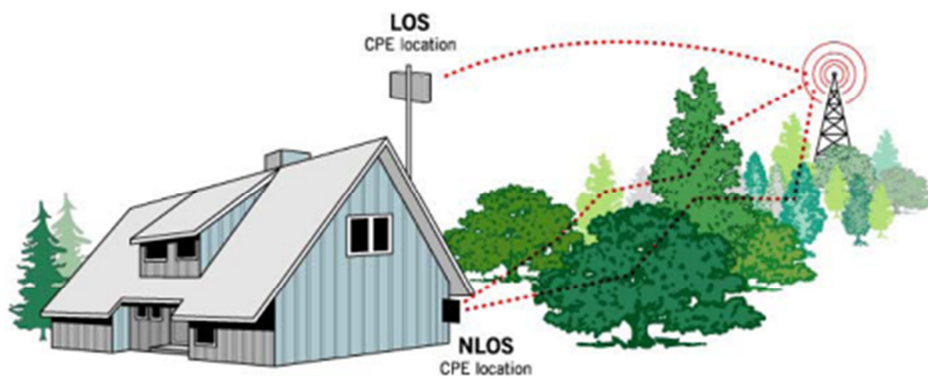
WiMAX-verkot kehitettiin pääasiassa langattomia laajakaistayhteyksiä, eli MAN-verkkoja varten kaupunkiympäristöihin. Tekniikka kehittyi tästä ja nykyään yhteyksiä on paremman signaalin kantavuuden ansiosta käytössä taajama-alueiden ulkopuolellakin. Mobiili-WiMAX kehitettiin liikkuvuutta varten. Sen ansiosta tekniikan käytettävyys monipuolistui, kun päätelaitetta pystyi liikuttelemaan verkon soluilta toiselle ilman yhteyden katkeamista.

Hyvän kantomatkan ansiosta WiMAX-tekniikka soveltuu erityisesti harvaan asutuille alueille, joille ei ole taloudellisesti kannattavaa rakentaa kiinteää runkoverkkoa. WiMAX ja mobiili-WiMAX erotetaan yleensä toisistaan kutsumalla WiMAXin ensimmäistä versiota fixed WiMAXiksi, koska se suunniteltiin pelkästään kiinteitä yhteyksiä varten.

5.2 WiMAX-standardit

WiMAX on kehitetty IEEE 802-sarjan avoimen 802.16 standardin pohjalle. Standardia alettiin kehittää jo vuonna 1999 ja se julkaistiin vuonna 2002. Sitä on kehitetty edelleen kyseisestä ajankohdasta lähtien. Alkuperäisen standardin taajuusalue oli 10–66 GHz ja sen toimintaperiaate oli line-of-sight (LOS), joka tarkoittaa esteetöntä tietä radiosignaalilla lähettimen ja vastaanottimen välillä. Standardi käyttää myös monipistetiedonsiirtotekniikkaa, eli päätelaitteelle on lähettimeltä useita eri datansiirtoväyliä. Perusversion tiedonsiirtonopeus on teoriassa noin 100 Mb:n/s luokkaa. [16, s. 98–99.]

Vuonna 2003 julkaistussa standardissa 802.16a tuli mukaan taajuusalueet 2–11 GHz. Se toi toiminnallisuuden ilman esteetöntä yhteyttä ja loi pohjan sitä seuranneelle 802.16e-standardille, jota kutsutaan myös mobiili-WiMAXiksi. Esteettömän yhteyden tekniikkaa kutsutaan non-line-of-sightiksi (NLOS). Kuten niimestä voi päätellä, NLOS ei tarvinnut enää LOS:n tapaan esteetöntä kulkua lähettimen ja vastaanottimen välillä (kuva 2). Esteettömään yhteyteen tarvittiin tiedonsiirtoon lisäteknikoita, joita olivat OFDM-modulaatio ja OFDMA-kanavanjakotekniikka. [17.]



Kuva 2. LOS:n ja NLOS:n erosta. [18]

Vuonna 2005 julkaistu standardi 802.16e sisälsi liikkuvuuden hallinnan käsittävät tekniikat, jonka myötä alkuperäisen WiMAX-perusversion taajuusalue muutettiin 10–66 GHz:n alueelta 2–11 GHz:n alueelle (802.16a). Versio 802.16e toimii taajuusalueella 2–6 GHz. Muutoksen myötä myös suurin mahdollinen teoreettinen datansiirtonopeus putosi noin 70 Mb:iin/s nopeuteen. Tärkeimmät uudistukset olivat tuki kannettaville päätelaitteille, parannukset palvelun laatuun (QoS), skaalautuva OFDMA ja tuki MIMO-tekniikalle (Multiple Input Multiple Output). [19, s. 9–11.] Näitä tekniikoita käsitellään tarkemmin kappaleessa Mobiili-WiMAX.

Vuoden 2009 loppupuolella julkaistu standardi 802.16j toi Multihop Relay -tekniikan, jonka avulla pyrittiin suurentamaan WiMAX-verkkojen tukiasemien peittoalueita ja parantamaan verkon kapasiteettia. Multihop Relay -tekniikassa tukiaseman ja päätelaitteen välille tulee välitukiasema, joka vahvistaa signaalia matkan varrella ja mahdollistaa näin suuremman kantoalueen ja paremman kapasiteetin. [20.]

Vuonna 2011 julkaistiin 802.16m-standardi, jonka tavoitteena oli tehdä parannuksia radioyhteyden suorituskykyyn. Julkaistusta standardista käytetään myös nimitystä Mobile WiMAX Release 2.0. Tärkein lähtökohta uudelle standardille oli saavuttaa kiinteille yhteyksille 1 Gb/s siirtonopeus ja kannettaville yhteyksille 100 Mb/s siirtonopeus, jotka vastaavat ITU:n määrittämiä 4G-tekniikoiden nopeuksista. Tavoitteeseen pääsemiseksi standardille tehtiin useita erilaisia määrittämiä liittyen yhteysnopeuksiin, viiveeseen, palvelun laatuun, eri radioliityntäverkoissa toimivuuteen ja paikannukseen. [21.]

Vuonna 2012 tulivat standardiversiot 802.16p ja 802.16n. 802.16p toi verkkoihin tuen Machine-to-Machine -sovelluksille, eli päätelaitteelta toiselle suoraan toimiville sovelluksille. 802.16n pyrki parantamaan yhteyksien luotettavuutta ja nopeutta kehittyneemmillä yhteydenmuodostustekniikoilla. Standardi on kehityksessä ja sillä on tavoitteena päästä 10 Gb/s nopeuksiin kiinteissä yhteyksissä ja 1 Gb/s nopeuksiin mobiiliyhteyksissä. Tekniikasta käytetään myös nimeä WiMAX Release 3.0. [22.]

6 Mobiili-WiMAX

Mobiili-WiMAX kehitettiin, koska WiMAX-verkosta puuttuivat liikkuvuus ja tuki kannettaville päätelaitteille. Tavoitteena mobiili-WiMAXin kehityksessä oli toteuttaa liikkuva laajakaista, joka pääsee nopeuksiltaan kiinteiden yhteyksien tasolle. Taajuusaluetta laskettiin alkuperäisestä 802.16-standardin alueesta, jotta päästäisiin parempaan kantomatkkaan. Taajuusalueen muutos laski teoreettista datansiirtonopeutta, jota kuitenkin saatiin parannettua 802.16e-standardin uusilla tekniikoilla. Tekniikka soveltuu kaupunkiympäristöissä kannettavien laitteiden yhteyksiä varten, jolloin liikkuvuus on hyvä suurehkojen kantoalueiden ansiosta. Taajuusalue on kuitenkin korkeampi kuin aiemmissa kilpailevissa 3G-tekniikoissa, joten mobiili-WiMAX ei pärjää kantomatkassa vanhemmille tekniikoille. [19, s. 9–11.]

802.16e toi mukautuvan koodauksen ja modulaatiotekniikan. Näillä tarkoitetaan resurssien, signaalin voimakkuuden, häiriöiden ja usean antennisignaalin aiheuttavien muutosten takia kehitettyä tekniikkaa, jonka avulla saavutetaan sujuvasti toimiva yhteys. [19, s. 10–16.]

Lähtökohtainen pääominaisuus standardille on liikkuvuuden hallinta. Liikkuvuuteen liittyen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat virransäästöominaisuudet ja tukiasemasta yhteyden siirto toiseen. Virransäästöominaisuuksista tärkeimmät ovat sleep-tila ja idle-tila, joiden ansiosta päätelaitteen akun virta ei kulu turhaan toimettomana ollessa ja tukiasemalta ei varata turhaan resursseja päätelaitteille. Yhteyden siirrossa tuetaan ajoneuvonopeuksissa tapahtuvaa siirtoa tukiasemalta toiselle. [19, s. 22–23.]

Mobiili-WiMAX käyttää usean antennin teknologiaa eli moniantenniteknotologiaa. Usean antennin käyttö vaatii monimutkaisia vektori- ja matriisioperaatioita, joilla monen signaaliväylän data saadaan kasattua. Tätä kutsutaan OFDMA-tekniikaksi (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access). [19, s. 25–27.]

6.1 Käyttökohteet

Mobiili-WiMAXin kantomatka on tukiasemalta parhaimmillaan muutamasta kilometristä ilman näköyhteyttä jopa mahdollisesti kymmeneen kilometriin kiinteällä päätelaitteella näköyhteydellä lisäantennin kanssa. Kantamaan vaikuttavat olennaisesti erilaiset näköesteet, kuten maanmuodot, metsiköt ja suuret rakennukset. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös ilmastolliset tekijät, kuten lumisade, vesisade ja sumu. Kantomatkansa vuoksi mobiili-WiMAX on käyttökelpoinen kaupungeissa, kylissä ja niiden läheisillä asutusalueilla. [23.]

Kaupungeissa mobiili-WiMAX-tekniikalla toteutettujen tiheästi asutuilla alueilla tekniikka toimii parhaiten suuren datansiirtokapasiteetinsa ansiosta verrattuna 3G-teknologioihin. Kaupungeissa joudutaan kuitenkin pystyttämään usein suuria määriä tukiasemia, sillä suuret rakennukset aiheuttavat katvealueita ja signaalin heikentymistä. Useita tukiasemia voidaan tarvita myös siksi, että yksi tukiasema voi palvella vain tiettyä määrää käyttäjiä niin, että kaikille saadaan taattua riittävä palvelun laatu kyseisellä alueella. [19, s. 9–11.]

Harvaan asutuilla alueilla on otettava huomioon, onko taloudellisesti kannattavaa ruveta rakentamaan tukiasemia halutun peiton saamiseksi. Täytyy ottaa huomioon mahdollisten asiakkaiden määrä ja tarvitsevatko he välttämättä tekniikan tarjoamaa datansiirtonopeutta. Paremmat peittoalueet ovat toteutettavissa helpommin ja halvemmin 3G-tekniikoiden avulla niiden paremman kantamansa ansiosta.

Mobiili-WiMAX on hyvin skaalautuva käyttöpaikan suhteen. Se toimii suurilla nopeuksilla kun päätelaite on lähellä tukiasemaa, mutta se toimii myös suuremmalla välimatkalla virheenkoraustekniikoidensa ansiosta. Välimatkan kasvaessa datan siirtonopeudet tippuvat, kun tarvitaan vahvempaa virheenkorjausta datan luotettavuuden varmistamiseksi, mutta nopeudessa päästään usein silti hyvälle tasolle. [19, s. 16–19.]

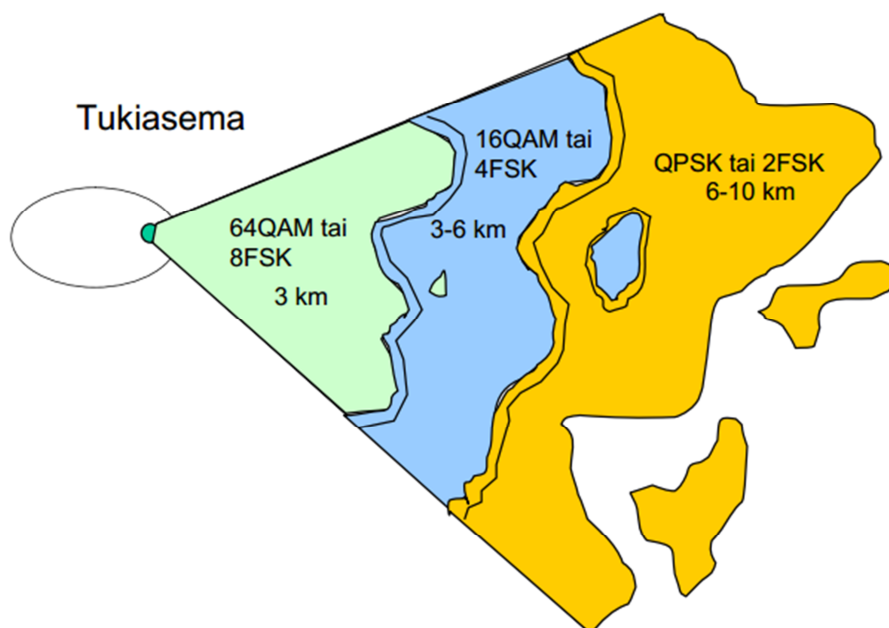
6.2 Modulaatiot

Mobiili-WiMAXissa on käytössä kolme modulaatiota: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM ja 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Jokaisella näistä on käytössä eri virheenkorjaustasoja. Modulaatiomenetelmissä 64QAM on eniten häiriöherkkä modulaatiomenetelmä ja QPSK vähiten häiriöherkkä (taulukko 2). Esimerkiksi käytettäessä modulaatiota 64QAM 3/4 neljäsosa biteistä on varattu virheenkorjaukseen. Keltaisella merkityt arvot uplink-nopeuksista taulukossa ovat standardin kannalta valinnaisia tekniikoita. [19, s. 16–19.]

Mitä häiriöherkempää modulaatiotekniikkaa käytetään, sitä lyhyempi kantama signaalilla on (kuva 3), mutta vastaavasti datansiirtonopeus on suurempi. Tätä käytetään hyödyksi mobiili-WiMAXin dynaamisessa modulaation valinnassa, eli etäisyyden kasvaessa tukiasemaan tekniikka osaa valita sopivimman modulaation käyttöön signaalin kantavuuden ja nopeuden puolesta. [19, s. 16–19.]

Taulukko 2. Modulaation ja hyötysuhteen vaikutus siirtonopeuteen. [19, s. 18]

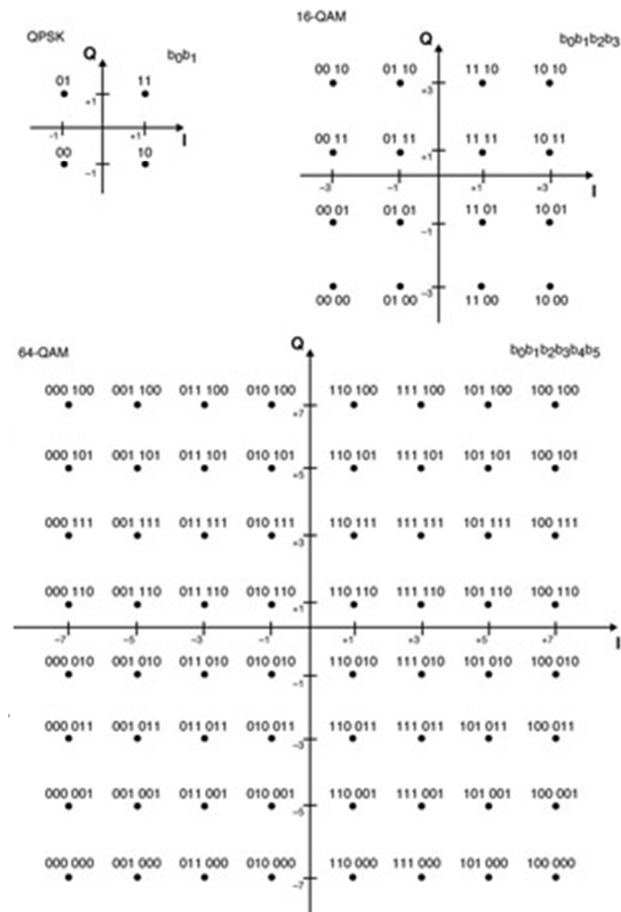
Mod.	Code Rate	5 MHz Channel		10 MHz Channel	
		Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps	Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps
QPSK	1/2 CTC, 6x	0.53	0.38	1.06	0.78
	1/2 CTC, 4x	0.79	0.57	1.58	1.18
	1/2 CTC, 2x	1.58	1.14	3.17	2.35
	1/2 CTC, 1x	3.17	2.28	6.34	4.70
	3/4 CTC	4.75	3.43	9.50	7.06
16QAM	1/2 CTC	6.34	4.57	12.67	9.41
	3/4 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
64QAM	1/2 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
	2/3 CTC	12.67	9.14	25.34	18.82
	3/4 CTC	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6 CTC	15.84	11.42	31.68	23.52



Kuva 3. Modulaatiot ja niiden käyttö. [24]

Mobiili-WiMAXin modulaatiotekniikat pohjautuvat OFDMA-menetelmään, joka tarkoittaa usean kanta-aallon käyttämistä samanaikaisesti rinnakkain informaation siirtoon. Alun pitäen WiMAX-tekniikkaa kehitettiin SC-menetelmällä (Single Carrier), eli ainoastaan yhtä kanta-aaltoa käytettiin datan lähettämiseen. OFDMA mahdollistaa suuremmat datanopeudet ja kantomatkat, sillä se pystyy käyttämään useaa kanta-aaltoa hyväkseen. Pitkillä välimatkoilla tarvitaan suurempia virheenkoraustasojä, jotka varaavat väylästä suuremman datamäärän virheenkoraaukselle, jolloin varsinaisen hyötydatan määrä vähenee. Tämä näkyy käyttäjille alhaisempänä siirtonopeutena. [19, s. 11–17.]

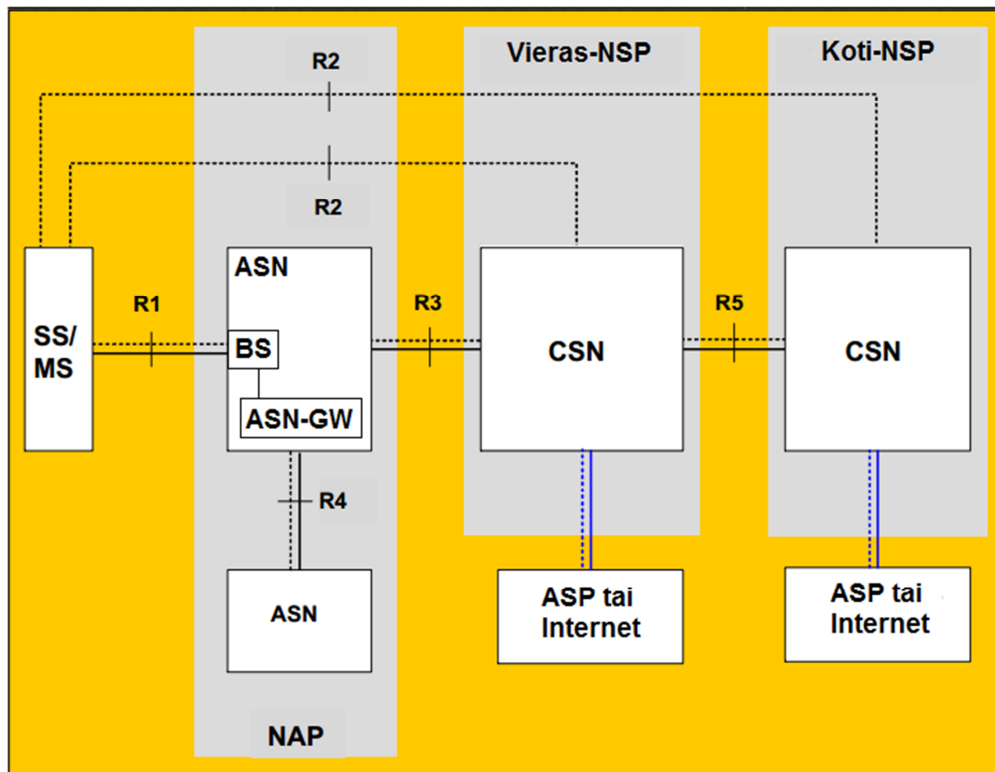
QPSK ja QAM ovat OFDM:n apukanta-aaltojen modulaatiossa käytettyjä vaihe- ja amplitudimuutoksiin perustuvia modulaatiomenetelmiä. QPSK käyttää yhden kanta-aallon neljää eri vaihetta modulaatioon. QAM-menetelmä taas käyttää kahta kanta-aaltoa 90 asteen vaihesiirtymällä ja sisältää sekä vaihe- että amplitudimuunnokset, joten se on vaihe- ja amplitudimodulaatiota yhdistävä menetelmä (kuva 4). [25.]



Kuva 4. Modulaatioiden vaihesiirrot. [26]

6.3 Verkon rakenne

IEEE:n määrittelemä standardi 802.16e ei itsessään määrittele mobiili-WiMAX-verkon rakennetta. WiMAX Forum on julkaissut verkkomallin loogisen rakenteen nimellä WiMAX Network Reference Model (NRM) (kuva 5). Mallin tarkoituksena on ollut sallia useita toteutustapoja ja saavuttaa niiden toimivuus keskenään. [19, s. 42–43.]



Kuva 5. Network Reference Model. [19, s. 43]

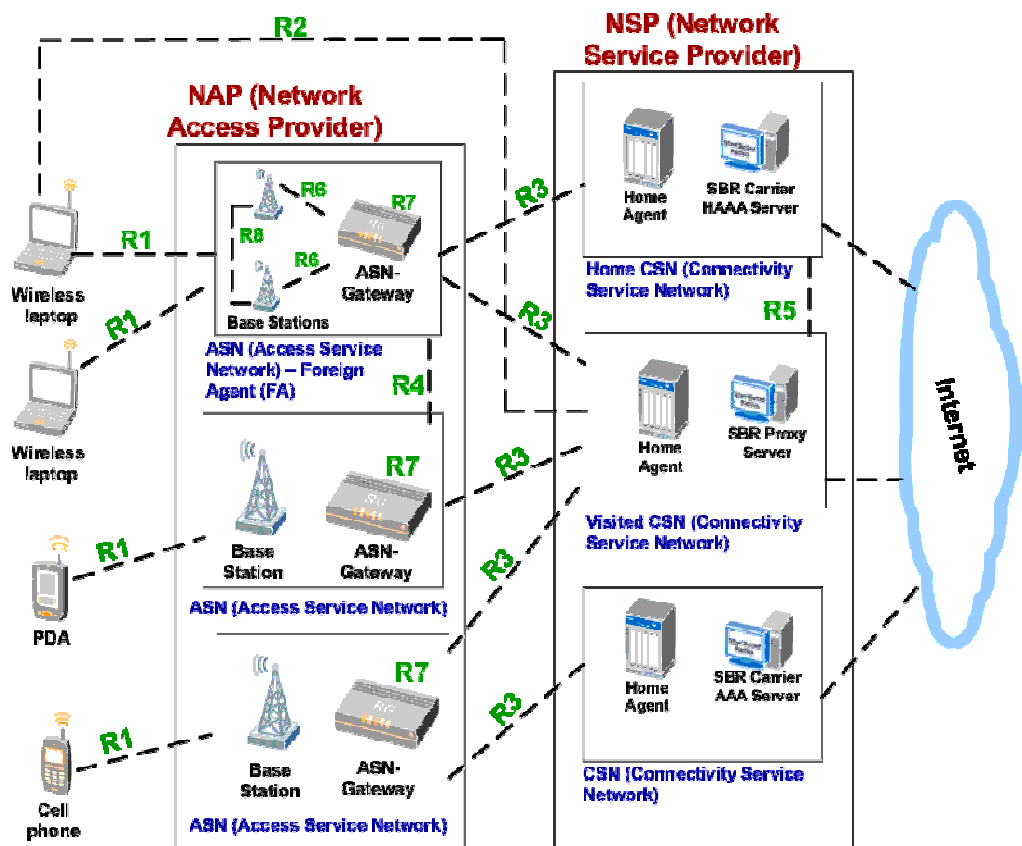
SS:llä (Subscriber Station) tarkoitetaan kiinteästi asennettua asiakaspäätettä eli tilaajapäätettä ja MS:llä (Mobile Station) tarkoitetaan liikkuvaa päätelaitetta. Päätelaitteet ovat yhteydessä tukiasemiin, joita merkitään referenssimallissa BS:llä (Base Station). ASN-GW eli Access Service Network Gateway on pääsyverkon yhdyskäytävä, johon tukiasema on yhteydessä. Sen tehtävä on välittää päätelaitteiden liikenne Internetiin. ASN-GW ja tukiasemat muodostavat yhdes-
sä ASN:n eli pääsyverkon (Access Service Network). [27, s. 6.]

CSN:n (Connectivity Service Network) eli liityntäverkko. Sen tarkoituksena on kytkeä asiakkaat Internetiin. Liityntäverkossa sijaitsevat tärkeät DHCP-, AAA- ja muut palvelimet, joten se vastaa myös päätelaitteiden autentikoinnista, aukto-
risoinnista ja IP-osoitteen määrittelystä. [27, s. 6.]

Referenssimallin NSP (Network Service Provider) eli pääsyverkon tarjoaja ja NAP (Network Access Provider) eli liityntäverkon tarjoaja on eroteltu omiksi loo-
gisiksi kokonaisuuksikseen, jotka mahdollistavat usean operaattorin tarjota verkkoyhteyksiä yhden mobiili-WiMAX-tukiasemaverkon avulla ja näin mahdol-
listuen verkkovierailun eli roamingin. [27, s. 6–7]

ASP (Application Service Provider) tarkoittaa verkossa tarjottavia palveluja. Kuvassa R1-R5 kuvastavat eri rajapintoja, joilla verkot ja komponentit ovat yhteydessä toisiinsa, esimerkiksi rajapinta R1 on päätelaitteen ja tukiaseman ilmaraajapinta. [27, s. 5–6]

Referenssimallin eri toimilohkot ja niiden toiminnallisuus voidaan myös hajauttaa ja sulauttaa, esimerkiksi kun ASN-GW on liitetty tukiasemiin [19, s. 42–43]. Käytännössä mobiili-WiMAX-verkko voisi näyttää alla olevan kuva 6 kaltaiselta.



Kuva 6. Juniperin mobiili-WiMAX-verkko. [28]

6.4 Päätelaitteet

Asiakkaan ja verkon käyttäjän näkökulmasta mobiili-WiMAX-verkon päätelaitteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: kiinteisiin ja pöytämallin päätelaitteisiin sekä liikkuvaan käyttöön suunniteltuihin laitteisiin. Kiinteänä päätelaitteena voidaan pitää esimerkiksi Telekarelian tarjoamaa mobiili-WiMAX-reititinmallia ja liikkuvana laitteena USB-väylässä toimivaa nettitikkoa [29]. Kiinteisiin päätelait-

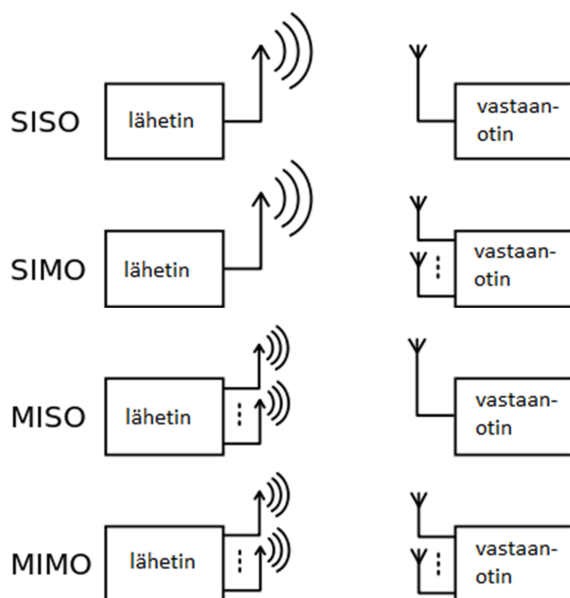
teisiin on usein mahdollisuus asentaa lisäantenni, jolla saadaan parannettua signaalin vastaanottokykyä tukiasemasolun reuna-alueilla.

Muita liikkuvia päätelaitteita ovat esimerkiksi mobiili-WiMAXia tukevat puhelimet sekä kannettavat tietokoneet. Näiden saatavuus Suomen markkinoilla on kuitenkin heikkoa ja puhelimet onkin suunniteltu käytettäväksi Venäjällä toimivassa Yotan mobiili-WiMAX-verkossa. [30; 31.]

6.5 Moniantennitekniikka

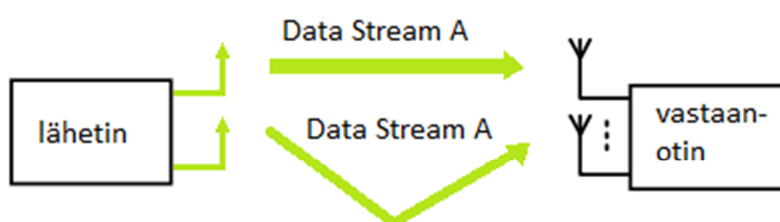
MIMO (Multiple Input and Multiple Output) on tekniikka, jossa tiedon lähetykseen ja vastaanottamiseen käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia. Moniantennitekniikan tuomat edut ovat parantunut signaalin vastaanottoa, parannettu tiedonsiirron luotettavuus sekä suuremmat siirtonopeudet. Se on tärkeä osa nykyaikaista langatonta tiedonsiirtoa ja se on käytössä mobiili-WiMAXin lisäksi LTE:ssä, HSPA+:ssa ja langattomien lähiverkkojen standardissa IEEE 802.11n.

Tyypillisiä mobiili-WiMAXin antennikonfiguraatioita (kuva 7) ovat SIMO (Single Input Multiple Output), josta käytetään myös nimitystä 1x2 viitaten lähettimien ja vastaanottimien määrään, ja MIMO (2x2) [34, s. 17].



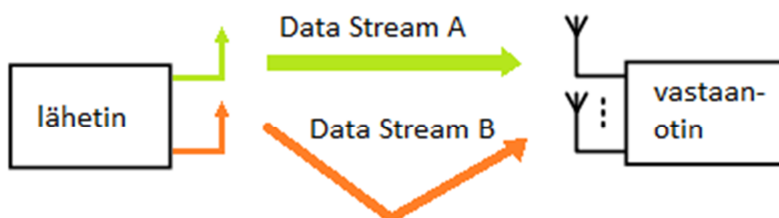
Kuva 7. Antennitekniikoiden erot. [33]

MIMO-antennitekniikkaa voidaan hyödyntää käyttäen sitä joko tiedonsiirtonopeuden parantamiseen tai parantamaan siirron luotettavuutta. Luotettavuutta parannetaan käyttämällä tila-aika-koodausta (Space-Time Coding), josta käytetään myös nimeä MIMO-A (MIMO Matrix A). STC:ssä sama lähde lähetetään useammasta eri antennista samanaikaisesti (kuva 8). Heijastuksia ja signaalille useita eri reittejä (multipath) sisältävässä ympäristössä päätelaitteella vastaanotetun signaalin luotettavuus tehostuu. Luotettavuuden lisäksi myös signaalin peitto ja kantama paranevat. Se on erityisen käyttökelpoinen heikoissa signaaliolosuhteissa ja solun reuna-alueilla. [35, s. 3.]



Kuva 8. MIMO-A. [35]

Tilallisessa limityksessä (Spatial Multiplexing), joka tunnetaan myös nimellä MIMO-B (MIMO Matrix B), lähetettävä signaali jaetaan eri datavirtoihin ja lähetetään eri antennilla vastaanottajalle (kuva 9). Eri aikaan kohteeseen saapuvista signaaleista vastaanotin pystyy kokoamaan ne yhtenäiseksi datavirraksi. Etuna tässä tekniikassa on kaistanleveyden ja lähetystehon kasvu. Teoriassa kahdella eri antennilla lähetetty data tuplaa siirtonopeuden mutta käytännössä näin ei kuitenkaan ole antennien häiritessä toisiaan [34, s. 17]. [35, s. 3.]

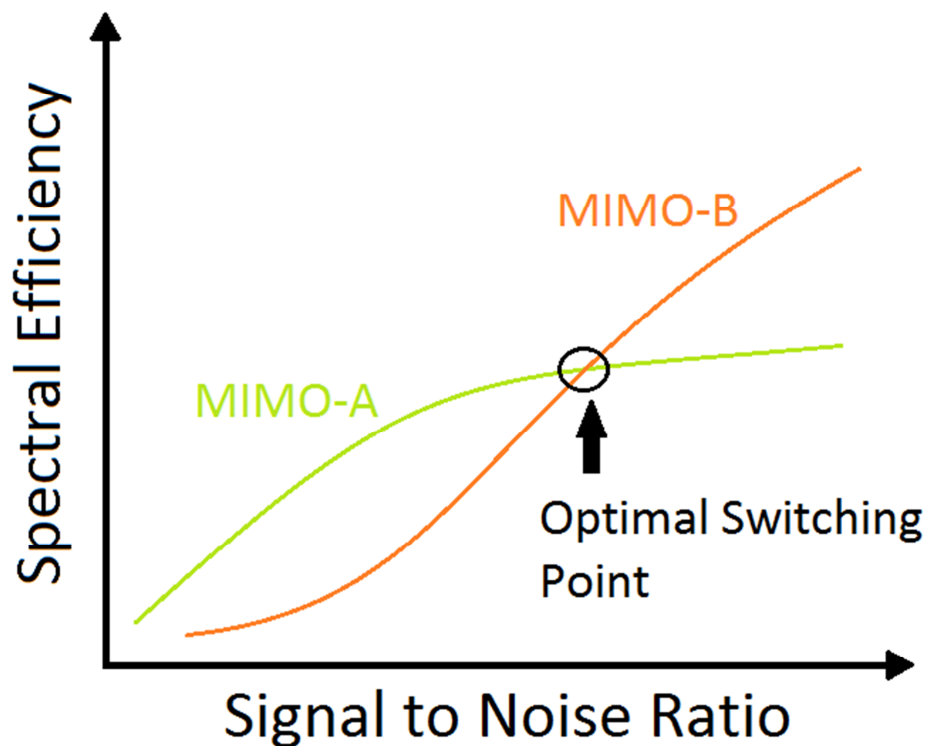


Kuva 9. MIMO-B. [35]

MIMO-B on erinomainen vaihtoehto urbaaniin ympäristöön, missä signaalilla on mahdollisuudet saavuttaa määränpäänsä useita eri reittejä ja heijastuksia käyttäen. Sisätilat, jossa signaalit heijastuvat seinistä, sisäkatosta ja lattiasta, ovat myös hyvä ympäristö MIMO-B:lle. MIMO-A soveltuu taas lähiö- ja taajaman ul-

kopuolisiin ympäristöihin, jossa ei ole saavutettavissa signaalille vaihtoehtoisia reittejä ja alueen signaali-kohinasuhde on heikompi. Toisaalta taas MIMO-A soveltuu signaalin luotettavuuden osalta paremmin liikkuvaan käyttöön. [35, s. 6.]

Ideaalitulanteessa mobiili-WiMAX-verkko hyödyntää molempia tekniikoita ja osaa vaihtaa MIMO-A:n ja MIMO-B:n välillä tilanteen mukaan (kuva 10). Hyvissä olosuhteissa käytössä olisi aina maksimaalisen siirtonopeuden takaamiseksi MIMO-B, kun taas häiriön kasvaessa käyttöön vaihtuisi päätelaitteen ja tukiaseman välille MIMO-A. [35, s. 4.]



Kuva 10. Vaihto MIMO-A:n ja MIMO-B:n välillä. [35]

MIMOsta voidaan hyötyä vain silloin, kun sekä tukiasema että päätelaitteet tukevat tekniikkaa ja sisältävät tarvittavan määrän lähettämiä ja vastaanottimia. Kun mobiili-WiMAX-käyttäjä liittyy verkkoon, päätelaite ilmoittaa tukiasemalle sen kyvystä käyttää tarjolla olevia tekniikoita. Tämän tiedon pohjalta tukiasema tunnistaa parhaan tavan muodostaa yhteys päätelaitteelle. [35, s. 6.]

6.6 Liikkuvuus

Toisin kuin alkuperäinen WiMAX, mobiili-WiMAX tukee mobiliteettia eli liikkuvuutta, joka mahdollistaa päätelaitteen käyttävän tukiaseman vaihdon ilman yhteyden katkeamista. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi VoIPin kaltainen reaaliaikainen liikenne ei katkea, kun siirrytään yhden tukiaseman alaisuudesta toiselle. WiMAX Forumin määritelmän mukaan päätelaitteen liikkuvuus on määritelty 120 km/h asti [36, s. 10].

Mobiili-WiMAX-päätelaite on kykenevä olemaan yhteydessä pelkästään yhteen sektoriin, toisin kuin esimerkiksi kilpailijansa LTE ja muut 3GPP:n kehittämät verkot (GSM ja UMTS). Päätelaite osaa kuitenkin tarvittaessa mitata alueella olevien muiden tukiasemien lähetteiden voimakkuutta (RSSI). Mikäli tarve tukiaseman vaihtoon ilmenee, eli kun sektorin voimakkuus tippuu jonkin ennalta määritellyn rajan alapuolelle, aloitetaan muiden tukiasemien lähetteiden voimakkuuden mittaus. Kun yhteydessä olevan tukiaseman voimakkuus on riittävän alhainen, tapahtuu päätelaitteen ja tukiasemien välillä yhteydenvaihto (handover). [27, s. 13.]

Yhteydenvaihtotapoja on kolme: Hard Handover, joka on standardissa määritelty pakolliseksi, ja valinnaiset tavat Macro Diversity Handover sekä Fast Base Station Switching. Nämä kaksi standardin kannalta valinnaista tapaa perustuvat pehmeään yhteyden siirtoon [19, s. 23]. Vaikka asiakkaan päätelaite on kerrallaan yhteydessä pelkästään yhteen sektoriin, vaihdot sektorista toiseen ovat nopeita. Mobiili-WiMAX tukee jopa alle 50 millisekunnin viivettä yhteydenvaihtotilanteessa [19, s. 11].

FBSS:ssä päätelaite on tietoinen kaikista alueella sijaitsevista tukiasemista. Laite määrittelee itselleen ankkuritukiaseman (Anchor BS). Ideana on muodostaa tukiasemista ryhmiä (Active Set), joiden kaikki jäsenet ovat valmiudessa kommunikoidaan päätelaitteen kanssa. Päätelaite tarkkailee alueen tukiasemia ja tarpeen mukaan valitsee uuden ankkuritukiaseman ryhmästä. Tärkeä välttämättömyys FBSS:n toteutumiseksi on, että dataa siirretään yhtäjaksoisesti kaikille Active Setin tukiasemille, jotka voivat palvella päätelaitetta. [19, s. 23; 27, s. 13.]

Macro Diversity Handover noudattaa samaa periaatetta, jossa muodostetaan ryhmiä ja valitaan Anchor BS. MDHO:ssa päätelaitteen lataus- ja lähetyksiin siirretään usean tukiaseman kautta, jotka synkronoivat ja yhdistävät liikenteen. Sama liikenne vastaanotetaan siis monella tukiasemalla [19, s. 24]. Telekarelialla ei ole nykyisessä verkossaan käytössä näitä kahta standardin kannalta valinnaista tekniikkaa [37].

6.7 Virransäästö

Mobiililaitteille on tärkeää voida liikkua verkon alueella sektorista toiseen ilman yhteyden katkeamista. Liikkuvuuteen liittyvät osaltaan myös virransäästöominaisuudet, joilla saadaan minimoitua päätelaitteiden akunkäyttö ja tukiasemista turha kaistanvaraus. Mobiili-WiMAX tukee kahdenlaista virransäästötilaa: Sleep Mode ja Idle Mode [19, s. 22–23].

Päätelaitteiden sen hetkisestä sijainnista pitää kirjata pääsyverkon yhdyskäytävä eli ASN-GW (kuva 6). Se tietää myös, mihin tukiasemaan jokainen päätelaite on yhteydessä. Sijaintitietoa tarvitaan yhteydenvaihdon lisäksi myös päätelaitteen palautuessa idle-tilasta takaisin aktiiviseksi. Kun päätelaite on ollut toimeton tietyn ajan, eli se ei ole lähettänyt tai vastaanottanut dataa, se menee virransäästämiseksi idle-tilaan mutta on kuitenkin edelleen kirjautuneena verkkoon. Päätelaitteen radio on pois päältä mutta se kuuntelee tukiasemalta tulevia hakuviestejä (paging). Idle Moden tarkoituksena on poistaa tarpeeton liikenne ja yhteydenvaihto toimetomien päätelaitteiden ja tukiasemien välillä. [27, s. 13.]

Sleep Mode toimii samoin tavoin ja sen tarkoituksena on minimoida päätelaitteen virrankäyttö ja säästää tukiasemien ilmarajapinnan resursseja. Erona Idle Modeen verrattuna on yhteydenvaihto Sleep Moden aikana [19, s. 23].

6.8 Palvelun laatu

Palvelun laadulla (Quality of Service) tarkoitetaan IP-pakettipohjaisen tietoliikenteen priorisoimista ja luokittelua. Normaali liikennevirta pyritään muuttamaan jonkin liikennetyypin eduksi. Hyvää palvelun laatua vaativat erityisesti reaaliaikaiset palvelut kuten VoIP-puhelut.

Palvelun laatuun vaikuttavat ensisijaisesti neljä verkon piirrettä:

- Siirtonopeus Nopeus, jolla tieto siirretään verkossa
- Viive Tiedonsiirrossa tapahtuva viive lähteen ja kohteen välillä
- Värinä Viiveen vaihtelu
- Luotettavuus Kuinka paljon lähetetyistä paketeista saapuu kohteeseensa [38.]

Mobiili-WiMAXissa päätelaitteilla on käytössä viisi eri palveluluokkaa. Luokat määritellään mobiili-WiMAXin MAC-kerroksella [19, s. 19]. Taulukossa 3 määriteltynä ovat mobiili-WiMAXissa käytössä olevat palvelunlaatuluokat ja -määrittelyt sekä niiden käyttämät esimerkkisovellukset.

Taulukko 3. Mobiili-WiMAXin palvelunlaatuluokat. [19, s. 21]

QoS-luokka	Sovellukset	QoS-määrittelyt
UGS (Unsolicited Grant Service)	IP-puhe (VoIP)	Pysyvä maksiminopeus Maksimiviiveen sieto Värinän sieto
rtPS (Real-Time Polling Service)	Äänen ja videon suoratoisto	Varattu minimisiirtonopeus Pysyvä maksiminopeus Maksimiviiveen sieto Liikenteen priorisointi
ErtPS (Extended Real-Time Polling Service)	IP-puhe aktiviteetin perusteella	Varattu minimisiirtonopeus Pysyvä maksiminopeus Maksimiviiveen sieto Värinän sieto Liikenteen priorisointi
nrtPS (Non-Real-Time Polling Service)	FTP-liikenne	Varattu minimisiirtonopeus Pysyvä maksiminopeus Liikenteen priorisointi
BE (Best-Effort Service)	Datan siirto, web-selailu yms.	Pysyvä maksiminopeus Liikenteen priorisointi

Unsolicited Grant Service (UGS) on suunniteltu ja tarkoitettu tasaisen bittivirran palveluille, kuten IP-puheelle (ilman hiljaisuuden tunnistusta), jossa tärkeää on pieni viive ja viiveen vaihtelu. UGS:n datavirta on suunniteltu lähettämään tasai-

sen kokoisia paketteja toistuvien väliajoin mahdollisimman pienellä viiveellä ja viiveen vaihtelulla. Tukiasema tekee kiinteän kokoisen kaistanvarauksen riippumatta siitä, onko verkossa muuta liikennettä. Vaikka kyseinen tapa tuhlaa hieman verkon resursseja, näin varmistetaan pientä viivettä vaativien sovellusten toimivuus. [39; 27, s. 20.]

Real-Time Polling Service (rtPS) on suunniteltu tukemaan reaaliaikaisia palveluja, joissa vastaanotetaan vaihtelevan kokoisia datapaketteja tasaisin ajanjaksoin (esim. MPEG-video). Kaistanvaraus tehdään pyynnöstä, jonka takia rtPS:n overhead on UGS:ää suurempi. [39.]

ErtPS (Extended Real-Time Polling Service) on kuten rtPS, mutta se ei varaa palvelulle minimikaistaa, joten tukiasemalta varattu kaista voi olla myös nolla. Se soveltuu VoIP-liikenteelle, jossa käytetään hiljaisuuden tunnistusta. Kun VoIP-puhelussa on hiljaisia hetkiä, paketteja lähetetään vähemmän ja kaistaa säästyy. [39.]

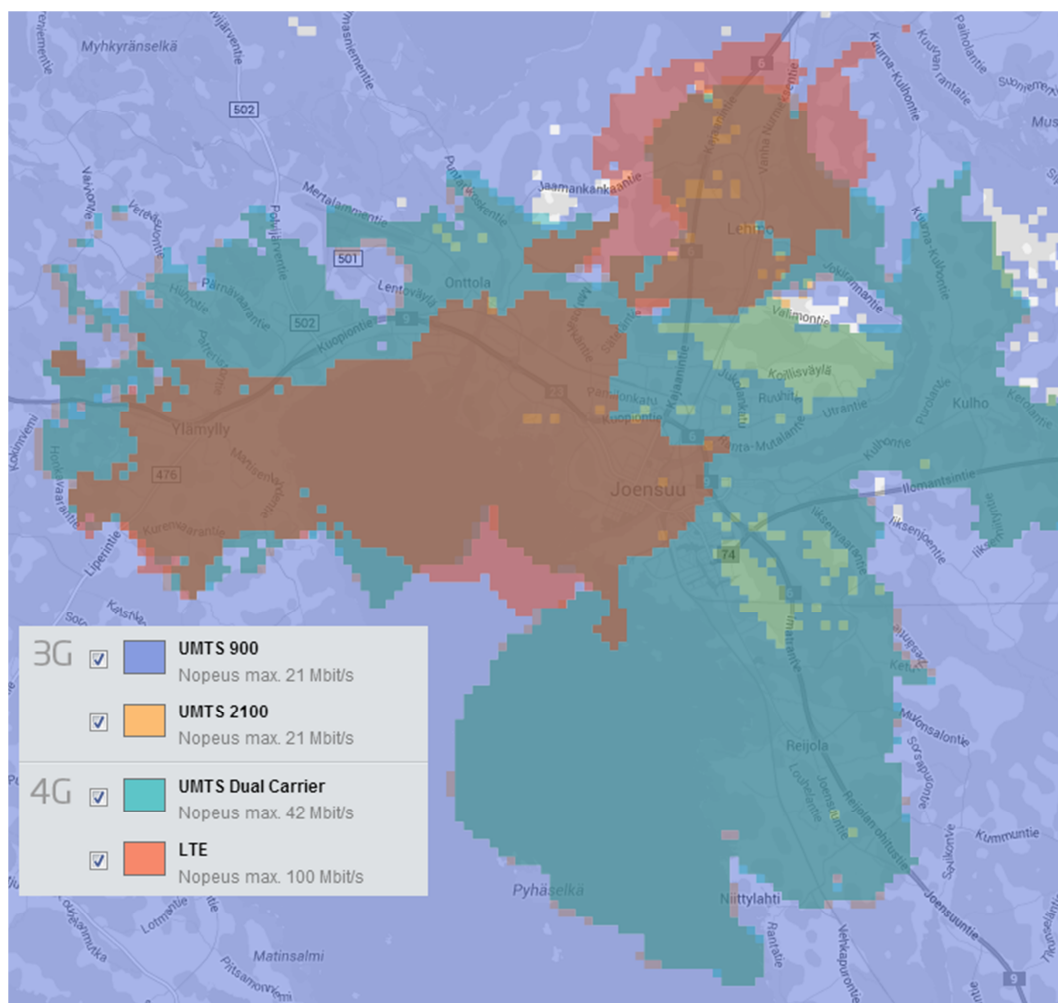
Non-Real-Time Polling Services -luokka on tarkoitettu bittivirrälle, jolla ei nimensä mukaisesti ole reaaliaikavaatimuksia. Tämä soveltuu liikenteelle, joka ei ole kriittistä mutta jolle halutaan taata jokin tietty minimikaista, esimerkiksi FTP-liikenne. [39.]

Best Effort -luokalle ei taata palvelun laatua. Nimensä mukaisesti muut palveluluokat menevät BE:n edelle ja jäljellä oleva kaista jaetaan Best Effort -käyttäjien kesken. Hyviä esimerkkejä tämän palveluluokan tyyppisestä liikenteestä ovat normaali Internet-selailu ja sähköpostiliikenne, jotka koostuvat vaihtelevan kokoisista datapyynnöistä vaihtelevin aikavälein. [39.]

7 4G-verkot Suomessa

Suomessa mobiili-WiMAXin kilpailija on LTE-tekniikka, jota käyttäen monet merkittävät operaattorit ovat rakentaneet 4G-verkkoja ympäri Suomea, esimerkiksi Sonera [41], DNA [42] ja Elisa [43]. 4G-verkkojen kuuluvuus on rajoittunut lähinnä suurimpien kaupunkien ympäristöihin, ja 3G-tekniikoiden avulla on kalettu kuuluvuus harvaan asutuilla alueilla sen paremman kantavuuden ansiosta.

Kuvassa 11 kuvattuna on Elisan kuuluvuuskartta Joensuun alueelta, jossa LTE-verkon kuuluvuusalue ilmoitetaan punaisella värillä.



Kuva 11. Elisan LTE-verkon kuuluvuus Joensuun alueella. [43]

7.1 Long Term Evolution

LTE eli Long Term Evolution on 3GPP:n kehittämä tekniikka, joka kuuluu samaan standardiryhmään UMTS-tekniikan kanssa, ja onkin toiselta nimeltään UMTS Revision 8. Vaikka LTE kuuluu samaan standardiperheeseen, kuin sitä edeltävät 3G-tekniikat, ei se kuitenkaan ole taaksepäin yhteensopiva edeltäjiensä kanssa. LTE:stä on kahdenlaista erilaista versiota: taajuuskanavoidut (FDD-LTE) ja aikajakokanavoidut (TDD-LTE) versiot. [40, s. 4–5.]

Teknisesti LTE on tekniikaltaan lähellä mobiili-WiMAXia, sillä kummatkin käyttävät OFDMA-menetelmää kanavointiin, osittain samoja kaistanleveyksiä sekä taajuusalueita ja perustuvat täysin IP-pohjaiseen datansiirtoon. Merkittävimpiä

eroja itse tekniikoissa sen sijaan ovat tukiasemaohjaimen toiminnot integroituna LTE:ssä tukiasemaan, joka vähentää turhaa dataliikennettä. Se vähentää myös liikennettä modulaatioeroissa käyttäjältä tukiasemalle päin, sillä LTE käyttää SC-FDMA-kanavointia OFDMA:n sijaan. Tämä mahdollistaa päätelaitteella signaalin lähettämisen heikkotehoisemmalla lähettimellä, jolloin päätelaitteen virrankulutus pienenee. Jossain tilanteissa suorituskyky ei pääse aivan OFDMA-menetelmän tasolle, mutta kannettavan päätelaitteen kohdalla virransäästö on luonnollisesti tärkeämpää. Tämä on yksi merkittävistä syistä päätelaitevalmistajien laajaan tukeen LTE-tekniikkaa kohtaan. [40, s. 4.]

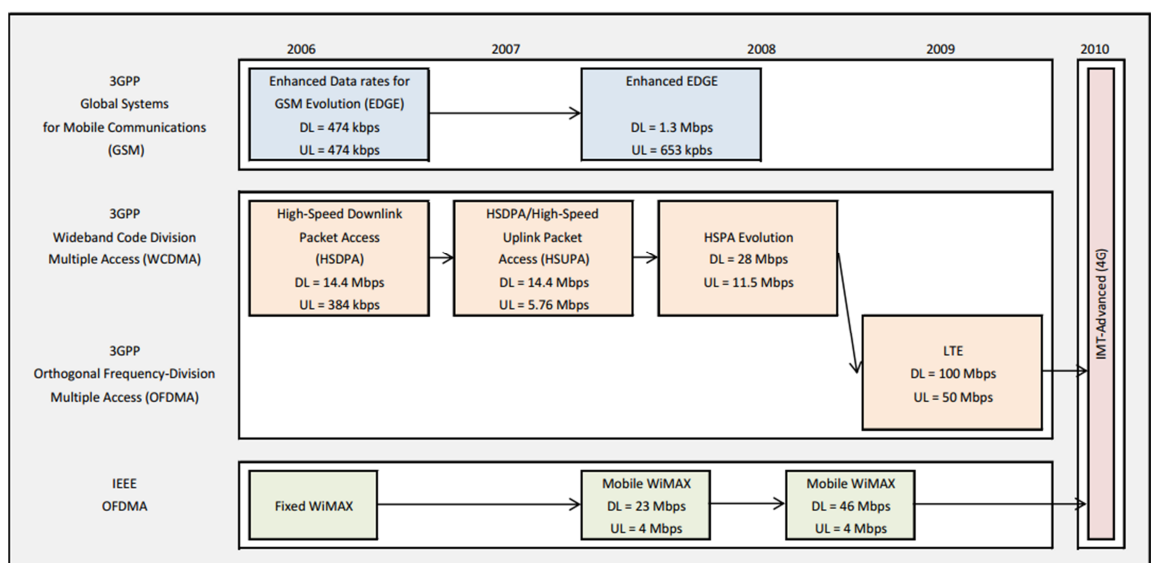
Ehkä kuitenkin merkittävin ero LTE:n eduksi on sen tuki selvästi laajemmalle kaistanleveydelle. LTE:n Release 8 standardiversio toi kanavaleveydeksi 20 MHz, joka on jopa kaksinkertainen mobiili-WiMAXin kanavaleveyteen nähden. Suurempi kanavaleveys tarkoittaa suurempia teoreettisia datansiirtonopeuksia (300 Mb/s lataus, 75 Mb/s lähetys) päätelaitteen ja tukiaseman välillä. LTE toimii myös useammilla taajuuskaistoilla kuin mobiili-WiMAX, jonka vuoksi sillä on enemmän kehitysvaraa mahdollisille uusille sovelluksille, sillä vapaita taajuuskaistoja löytyy riittävästi. [40, s. 5; 44.]

7.2 Tekninen vertailu

Taulukossa 4 on kuvattuna tekninen vertailu mobiili-WiMAXin ja LTE:n välillä. Kuten taulukosta voimme nähdä, LTE on tekniikkana edellä lähes jokaisessa kategoriassa teknisesti edellä mobiili-WiMAXia, joka tuli markkinoille LTE:tä aikaisemmin. Kuvasta 12 voimme nähdä 3GPP:n verkkojen kehityspolun LTE:hen asti, kuten myös rinnalla WiMAXin kehityksen nykyiseen muotoonsa.

Taulukko 4. Mobiili-WiMAXin ja LTE:n erot. [40]

	Mobiili-WiMAX 1.0	LTE (3GPP Release 8)
Sukupolvi	3.9G (4G)	3.9G (4G)
Ensijulkaisu	2005	2009
Fyysinen kerros	DL: OFDMA UL:OFDMA	DL: OFDMA UL: SCFDMA
Duplex	Time division duplex (TDD)	Time- and frequency-division duplex (TDD & FDD)
Liikkuvuus	< 120 km/h	< 350 km/h
Peitto	50 km fixed-verkossa ja 5km mobile-verkossa asti	100 km asti
Kanavan kaistan-leveys	3,5–10 MHz	1,4–20 MHz
Huippunopeudet	DL: 46 Mb/s (2 x 2 antennia) UL: 4 Mb/s (1 x 2 antennia)	DL: 300 Mb/s (4 x 4 antennia) UL: 75 Mb/s (2 x 4 antennia)
Spektriteho	DL: 1,91 b/s/Hz (2 x 2) UL: 0,84 b/s/Hz (1 x 2)	DL: 1,91 b/s/Hz (2 x 2) UL: 0,72 b/s/Hz (1 x 2)
Latenssi	Linkkikerros: noin 20 ms Yhteyden siirto: noin 35–50 ms	Linkkikerros: 5 ms Yhteyden siirto: 50 ms
VoIP-kapasiteetti	20 käyttäjää sektoria kohden/MHz (TDD)	80 käyttäjää sektoria kohden/MHz (FDD)
Muut ominaisuudet	Täysin IP-pohjainen, takaisin päin yhteensopiva, QoS-tuki	Täysin IP-pohjainen, takaisin päin yhteensopiva, QoS-tuki



Kuva 12. Mobiili-WiMAXin ja LTE:n kehityskaari. [40]

8 Mittaukset

Teoreettisen vertailun lisäksi tähän opinnäytetyöhön sisältyi myös käytännön osuus. Tarkoituksena oli selvittää ja kartoittaa Telekarelian 4G-verkkojen todellista toimivuutta ja kuuluvuutta tekemällä mittauksia sovituissa mittauspisteissä. Telekarelialla on olemassa simuloitua kuuluvuuskartat verkoistaan [45], joten tarkoituksenamme oli selvittää kenttätestein, kuinka verkko toimii todellisuudessa eri puolilla kaupunkia. Mittaukset suoritettiin Kiteellä, Lieksassa ja Joensuussa syksyn ja talven 2012 sekä alkuvuoden 2013 aikana.

Liitteissä 3, 6 ja 9 ovat mittausten aikana voimassa olleet simuloitua kuuluvuuskartat, jotka on kopioitu Telekarelian karttapalvelusta. Simuloituissa saatavuuskartoissa purppuranvärinen alue tarkoittaa, että kentän signaali kyseisellä alueella on vähintään -70 dBm. Vaaleansinisellä alueella kentän voimakkuus on välillä -95 dBm ja -70 dBm. Simulaatioissa -83 dBm tarkoittaa laskennallisesti 3,2 Mb/s nopeutta ja -70 dBm 6,4 Mb/s verkosta päätelaitteelle. Kyseiset simulaatiot ovat tehty päätelaitteella Datame WiMAX USB Terminal, jonka herkkyysraja on -95 dBm. [46.]

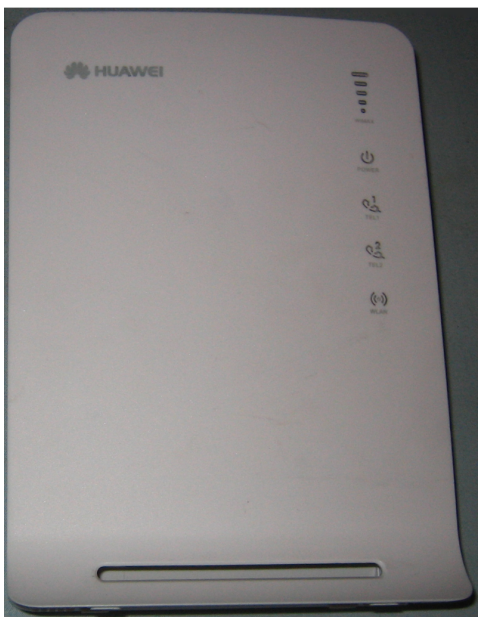
Kuuluvuusmittausten lisäksi suoritimme myös palvelunlaatumittauksia. Jo tehtyjä kuuluvuusmittauksia apuna käyttäen pyrimme selvittämään, mitä palveluja mobiili-WiMAX-yhteydellä on mahdollista käyttää, ja mitkä ovat raja-arvot, jolloin palvelun laatu tippuu välttävälle tai käyttökelvottomalle tasolle. Palvelunlaatumittaukset tehtiin VoIP-testein.

Mittauksissa käsiteltäviä alueita olivat koko Kiteen ja Lieksan kuuluvuusalueet. Joensuussa rajasimme aluetta Telekarelialta saaduista ohjeista niin, että mitattavia alueita olivat keskustan ruutukaava, Kanervala, Penttilä, Vehkalahti, Niinivaara, Nepenmäki ja Hukanhauta.

8.1 Käytettävä laitteisto

Mittauslaitteistona käytimme Telekareliasta saatuja kahta eri laitetta, joiden mukaan myös Telekarelian tarjoamat 4G-liittymät määräytyvät. Verkkovirralla toimiva pöytämallin 4G-reititin (kuva 13) on suunniteltu kiinteään käyttöön eli esimerkiksi korvaamaan kodin kiinteä Internet-yhteys. Toinen laite on USB-porttiin

kytkettävä 4G-nettitikku (kuva 14), joka soveltuu liikkuvaan käyttöön. Molemmat laitteet ovat Huaweiin valmistamia.



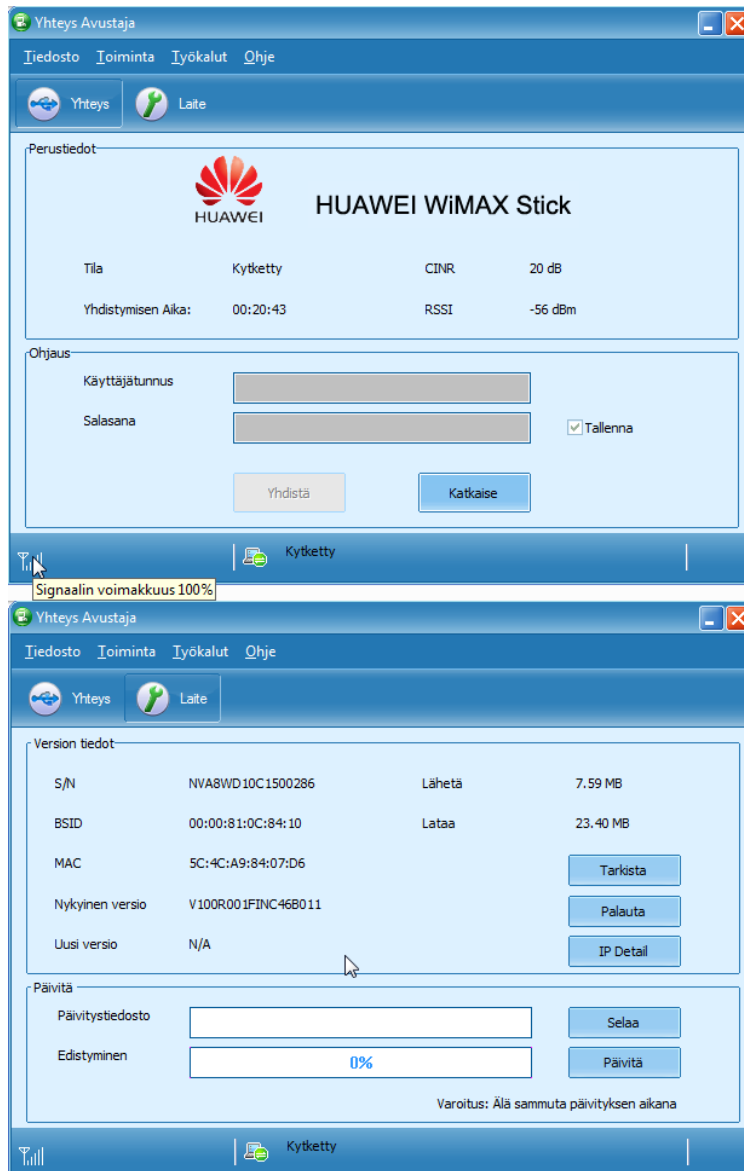
Kuva 13. 4G-reititin Huawei BM626e.



Kuva 14. USB-päätelaite Huawei BM328c.


Mobiili-WiMAXia tukevia matkapuhelimia tai tablet-tietokoneita ei Suomen markkinoilla ole vaan ainoat vaihtoehdot ovat käytännössä edellä mainitut päätelaitteet. Täten niiden käyttö tulee suurimmaksi osin rajoittumaan talojen sisätiloihin ja pihapiireihin sekä nettitikun avulla osittaiseen liikkuvaan käyttöön.

Mittaukset suoritettiin seuraten USB-tikun ja reitittimen hallintapaneeleja, joissa mittausten kannalta tarpeellisia arvoja ovat kaikki signaalin voimakkuuteen liittyvät arvot, linkin laatu sekä tukiasema, johon ollaan yhteydessä. USB-tikun suppeahko hallintanäkymä löytyy valmistajan Huaweiin WiMAX Stick Yhteys Avustaja -ohjelman yhteys- ja laitevälilehdiltä (kuva 15).



Kuva 15. 4G-tikun hallintaikkuna.

4G-reitittimen arvoja seurattiin sen web-hallinnan avulla. Sitä käytettiin oletusyhdyntävän osoitteesta <http://192.168.1.1> oletustunnuksin admin/admin. Yhteyden laadun kannalta tarpeelliset tiedot löytyivät paneelista Tila > WiMAX > WiMAX (kuva 16). Käytössä olevat modulaatiot sekä ylä- että alalinkille olivat ilmoitettuna riveillä UL_FEC ja DL_FEC, joita ei kuitenkaan otettu mittauksissa huomioon, sillä käytössä olevat modulaatiot vaihtelevat aina tilanteen mukaan. Kuvassa 16 päätelaitteelta tukiasemaan käytössä on modulaatio 16QAM hyötysuhteella 3/4 ja tukiasemalta päätelaitteelle 64QAM 3/4.



Tila > WiMAX > WiMAX

WiMAX

Kanavahaun tiedot

Tila

Laite

WAN

LAN

VoIP

WiMAX

Ohjattu toiminto

Perusasetukset

Edistyneet

Ylläpito

WiMAX

Yhteyden tila

Tila	Yhdistetty
Taajuus	2590000kHz
Ylälinkin siirtonopeus	11762tavua/sek
Alalinkin siirtonopeus	11560tavua/sek
Signaalin voimakkuus	70%
Linkin laatu	65%
ALL SC CINR	18.88dB
1/3 SC CINR	24.59dB
RSSI	-65.27dBm
UL_FEC	16-QAM [CTC] 3/4
DL_FEC	64-QAM [CTC] 3/4
BSID	00:00:81:0C:88:20
Lähetysteho	20dBm

Kuva 16. Reitittimen hallintapaneeli.

Palvelun laatua testatessamme käytimme Siemensin valmistamaa VoIP-puhelinta, sekä VoIP-päätelaitteelle vaadittua Linksysin puhelinadapteria (kuva 17). Nämä ja kaikki muut edellä mainitut laitteet saivat mittaustilanteessa autossa virtansa tupakansytyttimestä invertterin avulla.



Kuva 17. Siemens Euroset 2015 ja Linksys SPA2102. [47; 48]

8.2 Mittaustapa

Mittauksissa pyrittiin saavuttamaan todellisuutta vastaava tilanne, jossa yhteyttä käytetään lähinnä talon sisällä. Mittaukset suoritettiin 4G-reititintä ja USB-tikkua käyttäen henkilöauton sisällä ovet ja ikkunat suljettuina.

Mittausalueet ja -paikat pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman hyvin etukäteen, jotta koko mitattava alue tulee käsiteltyä kattavasti. Apuna käytettiin karttoja, joihin merkittiin mittauspisteet. Kartoista oli erityisesti hyötyä Kiteellä liikku-

essa, joka ei ollut ennestään tuttua seutua meille kummallekaan. Mittauksissa pyrittiin keskittymään asutusalueisiin, eli siis paikkoihin jossa myös mahdolliset asiakkaat ovat. Näiden lisäksi pyrittiin käymään hieman taajama-asutuksen ulkopuolella, kun etsimme peiton raja-arvoja.

Mittaukset suoritettiin seuraavanlaisesti: autolla pysähdyttiin mittauspaikalle, odotettiin hetki ja usein myös käynnistettiin reititin uudestaan, jotta se saa parhaimman yhteyden lähimpään mastoon. Tämän jälkeen arvot kirjattiin ylös sekä USB-tikkua käyttävästä kannettavasta tietokoneesta että reitittimen hallintapaneelistä. Telekarelian ohjeiden perusteella tarkkailimme myös, oliko mittauspaikoilla havaittavissa signaalin voimakkuuden ja nopeuden huomattavaa heitelyä.

Teimme myös satunnaisesti nopeustestejä www.speedtest.net-sivustolla, jolla saimme jonkinlaisen arvion todellisesta ylä- ja alalinkin siirtonopeudesta sekä verkon viiveestä. Sivuston nopeustestin luotettavuus riippuu kuitenkin sekä käytetyn verkon nopeudesta, että myös käytetyn Speedtest-palvelimen nopeudesta. Luotettavampia arvoja tulosten kannalta olivat saadut signaalin voimakkuuteen liittyvät arvot.

Palvelunlaatutesteissä reitittimeen yhteydessä olleella VoIP-puhelimella soitettiin matkapuhelimeen, johon vastattiin auton ulkopuolella. Sekä VoIP- että matkapuhelimella annettiin aistinvarainen arvio puhelun laadusta, johon vaikuttivat puhelussa kuuluvat häiriöt, viive sekä viiveen vaihtelu. Puhelun laatua arvioitiin asteikolla 0–5, joista 0 oli käyttökelvoton ja 5 erinomainen.

Mittausten jälkeen tulokset tarkistettiin ja taulukoitiin. Tulokset pyrittiin lähettämään mahdollisimman nopeasti Telekarelialle, jossa tuloksia voitiin käyttää esimerkiksi myyntityön apuna. Liittymää myytäessä voidaan tarkistaa, minkälaisia arvoja lähellä asiakkaan osoitetta on mitattu. Tulosten perusteella myös antennien uudelleensuuntaus halutun peiton saamiseksi olisi mahdollista.

8.3 Signaalin voimakkuuteen ja peittoon vaikuttavat asiat

Operaattorit tarjoavat usein asiakkailleen simuloituja kuuluvuuskarttoja verkkojensa peittoalueista. Niistä voidaan nähdä, millä alueilla ja mahdollisesti millä

nopeudella verkko toimii. Alueen peittoon vaikuttavat ensisijaisesti lähetinmastojen antennien korkeus, suuntaus, lähetysteho ja muut antennikonfiguraatiot.

Teknisten säätöjen lisäksi myös sää- ja maasto-olosuhteet vaikuttavat signaalin lähetykseen ja vastaanottoon. On huomattu, että kovalla pakkasella asiakkaan päätelaitteessa saadaan keskimääräistä parempia arvoja, kun taas lumisade vaikuttaa tuloksia heikentävästi. Voimakkuuteen heikentävästi vaikuttavat myös vesisade ja sumu. Päätelaitteen sijainnilla ja ihmisen läheisyydellä päätelaitteen vieressä on myös merkittävä vaikutus signaalin vastaanottokykyyn. [49]

Suoraviivainen signaalin eteneminen kohteeseensa ei todellisuudessa ole useinkaan mahdollista vaan signaalin kulkuun vaikuttavat kaikenlaiset esteet kuten rakennukset, maasto ja maaston muodot. Erilaisista esteistä radiosignaalin aallot heijastuvat ja siroutuvat. Toisaalta rakennukset tarjoavat myös signaalille vaihtoehtoisia reittejä kohteeseensa, esimerkiksi heijastuksena tasapintaisen rakennuksen seinän kautta. Käytettäessä moniantennitekniikkaa, eli signaalin lähetystä ja vastaanottoa useammalla antennilla, saadaan lisää kaistanleveyttä sekä tiedon luotettavuutta.

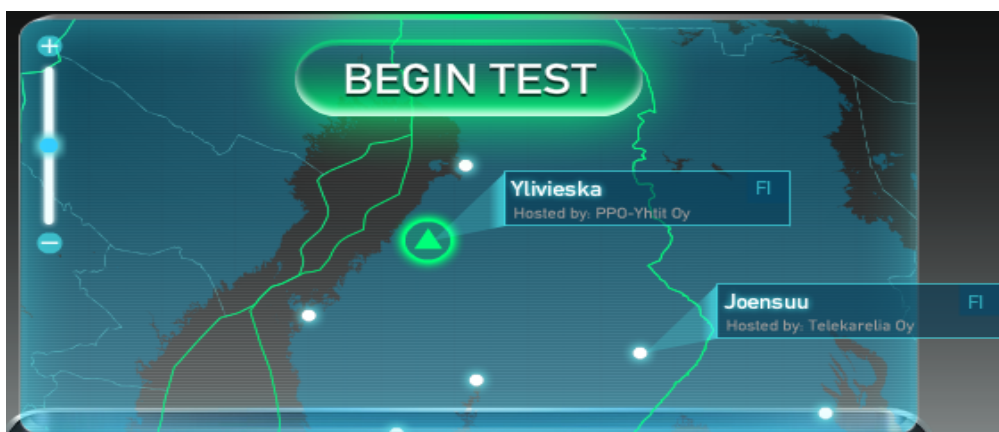
Signaalin läpäisykykyyn vaikuttavat myös materiaalit. Talojen ulkoseinät ovat paksumpia, ja näin ollen estävät myös signaalin kulkua talon sisäseiniä enemmän. Tämä on erityisesti ongelma nykyisissä energiatehokkaissa nollaenergiataloissa, joissa käytetään lämmöneristeenä alumiinifoliopäällysteistä materiaalia. Vaimennus on sitä suurempi, mitä korkeampaa taajuutta käytetään eli 4G-verkoissa ongelma korostuu. [50.]

Teoriassa kaikki sähköllä toimivat laitteet aiheuttavat häiriötä radioaalloille magneettisen kentän muodossa. Käytännössä pahimpia häiriöitä aiheuttavat muut langattomat verkot, voimalinjat, teollisuuden sähkölaitteet ja muut säteilyn lähteet. [51.]

8.4 Kuuluvuusmittaukset

Kuuluvuusmittauksissa keräsimme jokaiselta mittauspaikalta seuraavat arvot:

- Signaalin voimakkuus ja linkin laatu: Sekä reititin että nettitikku ilmoittivat prosentuaalisena arvona signaalin voimakkuuden 0–100 %. Tämän lisäksi reititin kertoo myös kyseisen linkin laadun.
- BSID: 48-bittinen Base Station ID ilmoittaa tukiaseman osoitteen, johon päätelaite on yhteydessä. Tähän sisältyy operaattorikohtainen 24-bittinen MAC-osoite. [52, s. 95.]
- CINR: Päätelaitteet raportoivat mitaamansa signaali-kohina-häiriösuhteen tasot (Carrier to Interference and Noise Ratio) tukiasemalle. CINR ilmoitetaan logaritmisella asteikolla desibeliarvona (dB).
- RSSI: Received Signal Strength Indication eli vastaanotetun signaalin voimakkuus (dBm). CINR:n ja RSSI:n avulla tukiasema saa tarkkaa tietoa signaaliolosuhteista. [27, s. 9.]
- Speedtest: Wwww.speedtest.net -sivustoa käytettiin satunnaisesti selvittämään kyseisen mittauspaikan lataus- ja lähetysnopeudet (Mb/s) sekä viive (ms). Speedtest-palvelimina käytimme joko Telekarelian palvelinta tai Ylivieskan palvelinta (kuva 18). Omakohtaisten kokemusten perusteella Speedtest-sivuston antamat arvot voivat vaihdella käytettävän verkon ja palvelimen ruuhkasta riippuen, joten tästä johtuen tuloksia voidaan pitää lähinnä suuntaa-antavina todellisesta lataus- ja lähetysnopeudesta.



Kuva 18. Speedtest.net-sivusto.

8.4.1 Kitee

Ensimmäiset mittaukset suoritimme perjantaina 5.10.2012 Kiteellä. Mitatut arvot ovat liitteessä 1 ja kartta mittauspaikoista liitteessä 2. Kyseisessä kartassa näkyvät myös, mihin tukiasemaan päätelaite oli yhteydessä ja signaalin voimakkuus värillä ilmoitettuna. Samalla signaalin voimakkuuden värillä on ilmoitettu myös reitittimen mittaustulostaulukossa kyseisen sarakkeen arvot. Sama tapa on käytössä myös Joensuun ja Lieksan mittaustuloksissa. Telekarelian simuloitua verkon kuuluvuuskartat löytyvät liitteestä 3. Kiteen taajama-alueella sijaitseva verkko on kahden tukiaseman laajuinen ja mittauspisteitä Kiteellä suoritettiin päivän aikana yhteensä 37 kappaletta.

Huomattava seikka Kiteen mittauksissa oli, että suurin osa (27/37) mittauspaikoista yhdisti kartassa pohjoispuolella näkyvään Kytänniemen mastoon, joka merkittiin karttaan numerolla 1. Vaikka valtaosa mittauksista suoritettiin Kiteen keskustan puolella, matkallisesti lähempänä olevaan mastoon päätelaite yhdisti vain kymmenellä mittauspisteellä.

Teimme heti myös havainnon, että nettitikun ja reitittimen antamat arvot signaalin voimakkuudesta eivät ole yhteneviä. Kun USB-päätelaite ilmoitti signaalin voimakkuudeksi 100 %, reititin ilmoitti voimakkuudeksi noin 80 %. Oleellisia olivatkin CINR- ja RSSI-arvot, jotka usein olivat sekä nettitikulla, että reitittimellä lähellä toisiaan vaikka signaalin voimakkuuden prosentuaaliset arvot erosivat toisistaan.

Tuloksia jalostaessamme keskityimme lähinnä reitittimen antamiin arvoihin. Fyysisesti suurena päätelaitteena reitittimessä on parempi antenni kuin pienessä USB-porttiin kytkettävässä nettitikussa. Reitittimellä muodostetun yhteyden viive oli myös yleisesti nettitikua parempaa. Speedtest-sivustolla suoritetuissa testeissä 23 mittauspaikan keskiarvo jäi reitittimellä 94 millisekuntiin kun taas nettitikulla se oli keskimäärin 132 millisekuntia.

Osa lähellä olevien mittauspisteiden signaalin voimakkuuden eroista johtui todennäköisesti maastosta, kuten hyvin tiheästä metsästä tai pinnan muodoista ja korkeuseroista. Esimerkkinä voidaan verrata mittauspaikkojen B1 ja B2 tuloksia. Vaikka B2 on välimatkaltaan lähempänä mastoa, reitittimen antama signaalin

voimakkuus on 24 prosenttiyksikköä alhaisempi kuin mittauspaijalla B1. Sää oli mittauspäivänä selkeä, joten sen vaikutus tuloksiin voidaan olettaa olevan vähäinen.

8.4.2 Lieksa

Lieksan mittaukset suoritimme maanantaina 12.11.2012 heti, kun kaikki tukiasemat oli saatu toimintaan. Tukiasemien kasvaneen määrän (alueella neljä tukiasemaa) takia Lieksassa suoritettavat mittaukset olivat myös laajemmat ja mittauspisteitä Lieksassa kertyi yhteensä 71 kappaletta. Mittausten tulokset löytyvät liitteistä 4 ja 5.

Verrattuna Kiteellä suoritettuihin mittauksiin Lieksassa huomattiin, että erinomaisena luvatus kuuluvuuden alueella arvot heittelivät huomattavasti enemmän. Samalla mittauspaijalla signaalin voimakkuus saattoi heitellä hetkellisesti hyvinkin paljon. Tähän osaltaan vaikutti erityisesti mittausten loppupuolella alkanut räntä- ja vesisade. Myös Lieksan keskustan eteläpuolella kiertäessämme Pokronlampea signaaliolosuhteet vaihtelivat huomattavasti ja vain kahdella mittauspaijoista saatiin muodostettua yhteys Rauhalan tukiasemaan, vaikka simuloitujen karttojen mukaan (liite 6) kyseisellä alueella olisi pitänyt saada muodostettua kelvollinen yhteys.

8.4.3 Joensuu

Joensuussa kuuluvuusmittaukset suoritettiin 23. – 24.1.2013. Mittausten ollessa laajimmat, ne suoritettiin kahden päivän aikana ja mittauspaijoja kertyi yhteensä 114 kappaletta. Joensuun alueella tukiasemaverkko koostuu 10 tukiasemasta, joista yhteydessä oltiin rajattavan alueen takia kahdeksaan tukiasemaan. Kyseiset tulokset ovat liitteissä 7 ja 8, ja Telekarelian simuloitua kuuluvuuskartat liitteessä 9.

Koska päätelaitteina pöytämallin reititin ja USB-tikku eroavat huomattavasti toisistaan, Joensuun mittauksissa kiinnitimme myös erityistä huomiota mihin tukiasemaan laitteet muodostivat yhteyden. Monilla mittauspaijoilla reititin ja USB-päätelaite olivatkin yhteydessä eri tukiasemiin, erityisesti, kun mittauspaij-

ka sijaitsi kahden eri tukiasemasolun lähistöllä. Reitittimen uudelleen käynnistäminen ja tämän myötä myös tukiasemaan uudelleen yhdistäminen USB-tikkua useammin vaikutti myös todennäköisesti käytössä olevan tukiaseman valintaan. Eroavuutta tukiasemaan, johon päätelaite oli yhteydessä, merkittiin taulukoissa BSID-sarakkeessa punaisella värillä.

8.5 Palvelunlaatumittaukset

Koska LTE-kuuluvuusmittaukset peruuntuivat, opinnäytetyön aihepiiriä päätettiin muuttaa enemmän palveluiden suuntaan ja niiden toimintaan langattomassa 4G-verkossa suuntautuvaksi. Olemassa olevia kuuluvuusmittauksia hyödyntäen mobiili-WiMAX-verkossa tehtiin palvelunlaatumittauksia, joiden tarkoituksena oli selvittää, miten esimerkiksi VoIP-puhelut toimivat. Mittauksia tekemällä voidaan löytää palvelun toiminnan kannalta raja-arvo, jolloin palvelun laatu laskee välttävälle tai käyttökelvottomalle tasolle.

Palvelunlaatumittaukset suoritettiin pelkästään Joensuussa. Saatuja tietoja käyttäen tuloksia pystyisi kuitenkin soveltamaan sekä Kiteelle että Lieksaan käyttäen apuna aikaisemmin suoritettuja kuuluvuusmittauksia.

Mittauspisteitä Joensuussa pyrittiin tekemään ympäri kaupunkia ja mittaukset keskittyivät myös osin verkon reuna-alueille, jotta palvelun toimivuuden raja-arvot saatiin selvitettyä. Mittaukset suoritettiin 28.5. – 29.5.2013 välisenä aikana ja mittauspisteitä kertyi yhteensä 21 kappaletta. Palvelunlaatumittaukset suoritettiin reititintä käyttäen. Mitatut tulosten kannalta oleelliset asiat olivat muuten samat kuin kuuluvuusmittauksissa ja näiden lisäksi mitattiin myös VoIP-puhelun laatua. Mittaukset ovat kirjattuna taulukkoon liitteessä 11 (tulokset järjestetty signaalin voimakkuuden mukaan) ja mittauspisteet löytyvät liitteen 12 kartoista.

Huomattavaa mittauksissa oli, että vaikka VoIP-puhelimeen saapuva puhe saattoi olla palvelunlaadullisesti hyväksyttävällä tasolla, sieltä lähtevä puhe ei saapunut matkapuhelimeen (mittauspaikat 7 ja 3). Mittauspaikoilla 4, 5 ja 21 verkkoon ei saatu ollenkaan yhteyttä, joten luonnollisesti VoIP-puhelu tai mikään muu Internet-pohjainen palvelu ei toiminut.

Mittauspaikalla 19 verkkoon saatiin yhteys mutta signaalin voimakkuuden ollessa niin huono, että puhelua ei saatu muodostettua. Jos mittauspistettä 18 ei oteta huomioon, voidaan tuloksista nähdä palvelunlaadun huononevan ratkaisevasti, kun signaalin voimakkuus tippuu 45 %:n alapuolelle (CIRN vähemmän kuin 10 dB ja RSSI -85,0 dBm). Vastaavasti taas signaalin voimakkuuden ollessa yli 50 % (CINR 15 dB) palvelunlaatu oli yleisesti erinomaisella tasolla eikä puhelussa esiintynyt keskustelua häihteävää häiriötä tai viivettä.

8.6 Liikkuvuusmittaukset

Mobiili-WiMAXin pitäisi nimensä mukaisesti olla liikkuva. Tätä lähdettiin testaamaan yksinkertaisella liikkuvuustestillä, jossa testattiin yhteyden jatkuvuus, kun päätelaite siirtyy toisen maston alaisuudesta toiseen.

Tarkoituksena oli selvittää, tapahtuuko VoIP-puhelussa katkosta siirron yhteydessä, ja jos tapahtuu niin kuinka pitkä. Mittauksessa ajettiin autolla hiljaista vauhtia maston läheisyydessä ja tarkkailtiin, milloin tapahtuu vaihto solusta toiseen ja katkeako puhelu vaihdon yhteydessä.

Liikkeelle lähdettäessä pantiin merkille, että päätelaite oli yhteydessä Joensuun Niinivaaran mastoon, jonka sijainnin voi nähdä Joensuun kartasta (liite 8) mastosta numero 3. VoIP-puhelimella soitettiin matkapuhelimeen ja todettiin puhelun laatu erinomaiseksi. Tämän jälkeen autolla lähdettiin ajamaan kohti Suvikadun mastoa (merkitty karttaan numerolla 8) kokoajan puhelun laatua tarkkaillen. Välimatkan Niinivaaran mastoon kasvaessa tarpeeksi suureksi päätelaite yhdisti Suvikadun mastoon. Käynnissä ollut puhelu ei katkennut eikä siinä huomattu lyhytkestoista särinää suurempaa häiriötä. Tämän kokeen perusteella voidaan siis sanoa päätelaitteen liikkuvuuden toteutuvan. Autolla ajettiin rauhallista taa-jamanopeutta mutta voidaan olettaa yhteydenvaihdon toimivan nopeammassakin vauhdissa (WiMAX Forumin määritelmän mukaan 120 km/h asti).

8.7 Tulosten analysointi ja hyödyntäminen

Erinomaisen kuuluvuuden aluetta voidaan pitää, kun signaali-kohina-häiriösuhde (CINR) on enemmän kuin 30 dB ja vastaanotetun signaalin voi-

makkuus (RSSI) enemmän kuin -60 dBm (taulukko 5). Näillä alueilla on mahdollista saavuttaa Telekarelian lupaamat huippunopeudet (25 Mb/s latausnopeus [29]), varsinkin kun verkon ruuhka on vähäinen ja olosuhteet optimaaliset. Alla olevassa taulukossa järjestettyinä ovat Kiteen mittaustulokset signaalin voimakkuuden mukaan, josta kyseiset raja-arvot voidaan havaita.

Taulukko 5. Osa Kiteen mittaustuloksista järjestettyinä signaalin voimakkuuden mukaan.

Mittauspiste	Reitin: BSID	Reitin: Signaalin voimakkuus (%)	Reitin: Linkin laatu (%)	Reitin: CINR (dB)	Reitin: RSSI (dBm)	Reitin: speedtest
C6	00:00:81:11:F8:00	99	91	34,50	-41,10	
A1	00:00:81:11:F9:20	93	91	34,60	-46,00	
A11	00:00:81:11:F9:10	91	94	36,10	-47,45	90ms 28,0M/3,7M
C1	00:00:81:11:F8:20	85	88	32,50	-53,00	120ms 18,3M/3,8M
C9	00:00:81:11:F8:10	84	90	33,80	-53,60	
A12	00:00:81:11:F9:00	82	90	33,70	-55,40	82ms 21,1M/3,8M
A2	00:00:81:11:F9:20	81	90	34,00	-56,10	
A3	00:00:81:11:F9:20	80	89	33,60	-56,80	75ms 15,2M/4,2M
C10	00:00:81:11:F8:10	77	87	32,20	-59,10	
A10	00:00:81:11:F9:10	75	86	31,60	-61,40	89ms 18,1M/4,1M
B10	00:00:81:11:F8:10	75	84	30,20	-60,90	71ms 19,1M/3,7M
B1	00:00:81:11:F8:20	71	85	30,90	-64,00	71ms 15,4M/2,5M
A9	00:00:81:11:F9:10	70	83	29,60	-65,10	94ms 17,4M/3,8M

Vastaavasti taas heikomman kuuluvuuden (taulukko 6) alueen raja-arvona voidaan pitää, kun signaalin voimakkuudessa mennään alle 50 %:n ($\text{CINR} < 15$ dB ja $\text{RSSI} < -80$ dBm). Kyseisellä alueella verkon toiminta riittänee kevyeen Internetin selailuun. Tekemiemme palvelunlaatumittausten perusteella havaitsimme, että VoIP-puhelussa ilmeni häiriötä tai puhelu ei toiminut ollenkaan signaalin voimakkuuden laskiessa 45 %:n alapuolelle ($\text{CINR} < 10\text{dB}$ & $\text{RSSI} < -85$ dBm). Heikon kuuluvuuden alueella tulee siis todennäköisesti esiintymään ongelmia suurta datansiirtonopeutta tai reaaliaikaisuutta vaativien palveluiden kanssa.

Taulukko 6. Kiteen heikomman kuuluvuuden mittauspisteet.

Mittauspiste	Reititin: BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
C5	00:00:81:11:F9:20	54	64	18,70	-78,20	
C4	00:00:81:11:F8:00	51	61	16,40	-80,45	107ms 7,7M/0,5M
A8	00:00:81:11:F8:10	48	57	13,90	-83,00	
B11	00:00:81:11:F8:10	48	53	12,60	-82,90	106ms 4,4M/0,3M
B2	00:00:81:11:F8:20	47	55	12,75	-84,05	132ms 4,3M/0,2M
C3	00:00:81:11:F8:00	46	53	11,70	-84,80	
A7	00:00:81:11:F8:10	44	50	9,70	-87,00	

Liitteissä 3, 6 ja 9 ovat mittauksen aikana voimassa olleet Telekarelian simuloitua kuuluvuuskartat Kiteeltä, Lieksasta ja Joensuusta. Simuloiduissa kartoissa purppuran välinen alue ilmaisee, että tukiasemalta päätelaitteelle RSSI on vähintään -70 dBm ja vaaleansinisellä alueella RSSI on -70 ja -83 dBm:n välillä [46]. Tekemiemme mittauksen perusteella voidaan nähdä, että -70 dBm:n RSSI vastaa prosentuaalisena arvona signaalin voimakkuutena noin 65 prosenttia (taulukko 7). Edellä mainittu yhteyden signaalin voimakkuus pitäisi siis olla saatavutettavissa simuloitujen karttojen purppuran värisellä alueella.

Taulukko 7. Kiteen kuuluvuusmittaukset.

Mittauspiste	Reititin: BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
B9	00:00:81:11:F8:10	67	80	27,50	-67,20	82ms 13,8M/2,6M
C8	00:00:81:11:F8:00	67	80	27,80	-67,60	
B6	00:00:81:11:F8:20	66	72	24,70	-69,00	85ms 12,5M/2,5M
B7	00:00:81:11:F8:20	65	71	22,70	-68,60	72ms 5,8M/2,3M
B12	00:00:81:11:F8:10	65	77	26,15	-69,10	
B3	00:00:81:11:F8:20	63	74	24,60	-71,50	130ms 6,9M/1,9M
B13	00:00:81:11:F9:00	63	74	24,40	-70,40	87ms 13,9M/2,3M
A4	00:00:81:11:F9:20	61	73	23,70	-72,70	125ms 14,2M/1,2M

Vertaamalla simuloituja karttoja saamiimme tuloksiin, voidaan simuloitujen karttojen nähdä pitävän suurilta osin paikkansa. Esimerkkinä tästä liitteessä 10 oleva kartta, jossa on yhdistetty suorittamamme mittauspisteet Telekarelian kuuluvuuskarttaan Joensuun keskustan ruutukaavan alueella.

Toimeksiantaja Telekarelialle puolella suorittamistamme mittauksista oli monenlaista hyötyä. Mittauksia on käytetty apuna myyntityössä, jolloin asiakkaalle on

voitu ennen liittymän myymistä tarkistaa, millaisia arvoja olimme mitanneet asiakkaan osoitteen lähistöllä. Tällöin ei käy tilannetta, että liittymiä myydään etenkin reititinversioina alueelle, jossa yhteyden toiminta on heikkoa. Tässä tapauksessa asiakkaalle voidaan kertoa heti, että hyvän kuuluvuuden saamiseksi kyseisellä alueella päätelaitteen lisäantennin hankkiminen on suositeltavaa.

Mittauksiamme pystyi hyödyntämään myös vianselvityksessä. Jos asiakas on selvästi jäänyt luvatusa nopeudesta, hänen antamia arvoja on voinut verrata tehtyihin kuuluvuusmittauksiin. Jos mittaamamme arvot ovat olleet selvästi parempia, vika on todennäköisesti ollut päätelaitteen sijainnissa tai muissa kuuluvuutta häiritsevissä tekijöissä.

Telekarelia tarjoaa kiinteään lankapuhelinliittymän korvaavaa VoIP-liittymää [53]. Vaikka liittymät myydään yleensä laajakaista- tai valokuituyhteydellä käytettäväksi, periaatteessa mikään ei estä VoIP-liittymän käyttämistä langattoman mobiili-WiMAX-verkon liittymän kanssa.

9 Tulevaisuuden näkymät

Mobiili-WiMAXin päivittämiseen on operaattorilla kaksi järkevää vaihtoehtoa, jotka ovat suoraan WiMAX 2 -tekniikkaan päivittäminen tai siirtyminen 3GPP:n TDD-LTE-verkkotekniikkaan ja siitä päivittäminen LTE Advancediin. Tekniikoiden samankaltaisuus mahdollistaa joissakin tapauksissa mobiili-WiMAX-tukiasemien päivittämisen LTE-tekniikkaan jopa pelkällä ohjelmistopäivityksellä. Tämä on kuitenkin käytössä olevasta laitteistosta riippuvaista, ja voi olla, että joitakin komponentteja joudutaan vaihtamaan tukiasemista. [54, s. 29–33.]

Suorituskyvylisesti siirtonopeuksien puolesta näillä tekniikoilla ei ole mainittavan suurta etua suuntaan tai toiseen, joten päätös tekniikan puolesta tulee tehdä muiden ominaisuuksien perusteella. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa käytössä oleva tekniikka ja laitteisto, käyttökohteet, viranomaismääräykset ja palveluiden tarjonta. Näiden perusteella tehdään valinta siitä, kumpi tekniikka on parempi vaadittujen ominaisuuksien osalta. Pelkästään viranomaismääräykset voivat olla ratkaisevana tekijänä, eli esimerkiksi operaattorilla olevat taajuuskaista-alueet eivät välttämättä sovellu toiselle tekniikalle. [54, s. 29-33.]

9.1 WiMAX 2

WiMAX 2 on seuraava kehitysaskel mobiili-WiMAXille, ja se pohjautuu 802.16m-standardiin. Se parantaa mobiili-WiMAXia suorituskyvyltään sille tasolle, minkä alun pitäen piti olla määritelmänä 4G-verkoille, eli 100 Mb/s latausnopeuden saavuttaminen. Datansiirtonopeuksien lisäksi myös latenssit paranevat aiempaan tekniikkaan verrattuna. Paremmat nopeudet saavutetaan kehittyneemmällä MIMO-tekniikalla, kaistankäytöllä ja kanavoinnilla. Kaistanleveys nousee ensimmäisen mobiili-WiMAX-version 10 MHz:stä 20 MHz:iin ja datansiirtonopeudet nousevat 46 Mb:stä/s 365 Mb:iin/s nopeuteen. [55.]

Mobiili-WiMAX-verkon päivittäminen WiMAX 2 -verkkoon on suhteellisen helppoa operaattorin ja käyttäjien näkökulmasta, sillä uusi tekniikka on yhteensopivaa vanhan tekniikan kanssa. Käyttäjien ei siis tarvitse päivittää päätelaitteitaan, jotta ne toimisivat uudessa verkossa, mutta jos he haluavat saada uudemman tekniikan tarjoaman nopeamman yhteyden käyttöönsä, on heidän päivitettävä päätelaitteensa. Tekniikoiden yhteensopivuus mahdollistaa myös joustavan siirtymän uuteen tekniikkaan operaattorin näkökulmasta, sillä operaattori voi päivittää halutessaan osan verkosta kerrallaan. Tukiasemat voidaan päivittää uudempaan tekniikkaan ensin niillä alueilla, missä suuremmalle kapasiteetille on tarvetta, ja verkko on silti kokonaisuudessaan täysin toimiva niin päätelaitteiden kuin tukiasemien tekniikoiden osalta. Tämän ansiosta osa verkosta voidaan jättää päivittämättä, jos sille ei nähdä tarvetta näillä alueilla. [54, s. 27–29.]

Paremman kuuluvuuden lisäksi WiMAX 2 parantaa monia muitakin osa-alueita kuten virransäästöominaisuuksia, liikkuvuutta ja tietoturvaa. Näihin ominaisuuksiin tarvitaan päivitykset autentikointipalvelimiin ja ASN-GW:n laitteistoon. WiMAX 2 kasvattaa datan siirtonopeuden lisäksi signaalin kantamaa ja kapasiteettia suuremmalle käyttäjämäärälle saman solun alueella. Tämän vuoksi WiMAX 2 tekniikan käyttöönotossa tulee kiinnittää huomiota siirtoyhteyksien kapasiteettiin, jotta tästä ei aiheudu pullonkaulaa verkkoon. [54, s. 27–30; 27, s. 37–40.]

WiMAX 2:n tarjoamat selvästi suuremmat datansiirtonopeudet tarjoavat mahdollisuudet enemmän kaistaa vieville palveluille, joita ovat muun muassa erilaiset pilvi- sekä suoratoistopalvelut. Takaisinpäin olevan yhteensopivuuden ansiosta kaikki entiset mobiili-WiMAXin palvelut toimivat myös ongelmitta uudistetussa

verkossa. WiMAX 2:n asemaa markkinoilla heikentävät samat ongelmat kuin mobiili-WiMAX vs. LTE -kilpailutilanteessakin. LTE-tekniikan suuremman suosion vuoksi päätelaitevalmistajien tuki tekniikalle on vahvempi, ja WiMAX 2:lla taajuusalueita ei ole yhtä laajasti käytössä kuin LTE:llä. [54, s. 27–30; 27, s. 37–40.]

WiMAX 2:n tekniikkaa on kehitetty parantamalla kanavointia, MIMO-tekniikkaa ja tukiaseman laitteistoa. WiMAX 2 käyttää ainoastaan TDD-kanavointia, kun aiemmassa versiossa oli mahdollisuutena käyttää TDD- tai FDD-kanavointia. TDD-kanavointi on soveltuvampi tekniikka datan siirtoon verkossa ja FDD parempi ratkaisu pelkän puheen siirtoon. Koska VoIP-palveluita käyttäen pystytään toteuttamaan puheyhteydet, niin TDD-kanavointi on kokonaisuudessaan kannattavampi ratkaisu. [56.]

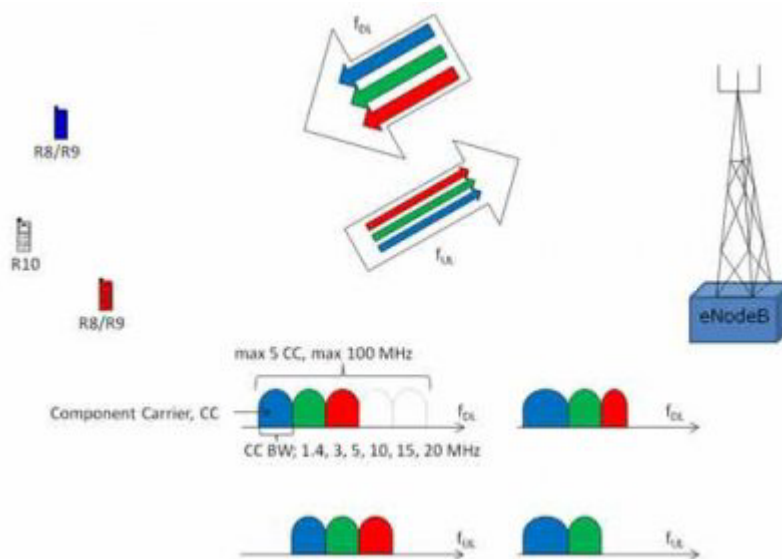
9.2 LTE Advanced

Mobiili-WiMAX-verkon päivittäminen LTE Advanced -verkoksi tapahtuisi siirtymällä ensin LTE-tekniikkaan, joka suoritettaisiin tukiasemien päivittämisellä LTE-verkkoon sopiviksi. Tästä siirtyminen taas LTE Advanced -tekniikkaan tapahtuu käytännössä yhtä ongelmattomasti kuin mobiili-WiMAXin ja WiMAX 2:n kohdalla. Laitteistosta riippuen päivittäminen voi tapahtua joskus lähes ohjelmistopohjaisesti, mutta vaatii yleensä joidenkin komponenttien uusimista. Uuden tekniikan täysi hyödyntäminen suorituskyvyllisesti vaatii kuitenkin uudempaa laitteistoa. [54, s. 30–33.]

LTE-tekniikkaan päivittäessä täytyy ottaa huomioon, että tekniikat eivät toimi ristiin, kuten mobiili-WiMAXin ja WiMAX 2:een päivittämisen kohdalla. Verkon päivitys on tehtävä suunnitellusti joko alue kerrallaan tai käyttämällä teknologioita rinnakkain jonkin aikaa. Teknologioiden käyttö rinnakkain on kuitenkin luonnollisesti monimutkaista ja kapasiteettia vievää, sillä kummankin tekniikan kehityksiä joudutaan sovittamaan yhteen, jolloin palveluntaso tippuu sovitukselta johtuvan datan käytön hyötysuhteen alenemisen vuoksi. Tämän vuoksi päivittäminen suoraan LTE-tekniikkaan on suositeltavaa, jos se vaan on käytännössä mahdollista toteuttaa. [53, s. 29–33.]

LTE-verkkoon päivittämisen etuina operaattoreilla ovat laaja tuki päätelaitevalmistajilta, tuesta johtuva suhteellisen varma asiakaskunta sekä tekniikan jatkuva kehitys. LTE:n laajempi käytössä oleva taajuusalue mahdollistaa useampien taajuusalueiden jakamisen eri sovelluksien käyttöön tai suurempaan kaistan käyttöön useamman taajuusalueen yhteiskäytöllä. [57.]

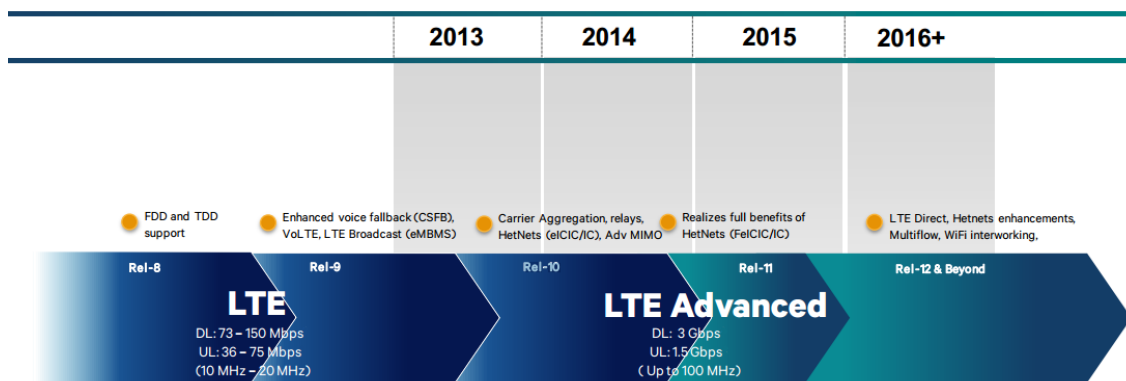
LTE-A-tekniikan ehkäpä tärkein ominaisuus on Carrier Aggregation, joka tarkoittaa eri taajuusalueiden kantoaaltojen yhdistämistä. Tämän avulla on mahdollista saavuttaa jopa 100 MHz:n kanavaleveys viittä kantoaaltoa käyttämällä (5 x 20 MHz). Tämä on kuitenkin vielä tulevaisuuden ominaisuuksia ja nyt tavallista on yhdistää 10 MHz leveä kantaalto 800 MHz:n ja 1,8 GHz:n taajuusalueilta yhdeksi 20 MHz:n leveäksi kantaalloksi. [59] Havainnollistavassa kuvassa 19 päätelaite R10 voi käyttää maksimissaan viittä kantaaaltoa (CC = Component Carrier), joista maksimissaan kaistanleveydeksi saadaan 100 MHz. [58.]



Kuva 19. Carrier Aggregation. [58]

Eteläkorealaisen operaattorin SK Telecomin yhdessä ensimmäisistä kaupallisista LTE-A-verkoissa luvataan 150 Mb/s latausnopeus. Vasta LTE-A:n kanssa voidaan siis puhua "todellisesta" 4G:stä. LTE-A-verkon ja -tekniikan ollessa lopullisesti valmis 1 Gb/s tiedonsiirtonopeudet voivat olla mahdollisia paikallaan oleville käyttäjille ja 100 Mb/s liikkuville käyttäjille auto- ja junanopeuksissa. Tekniikan teoreettiset huippunopeudet ovat 3 Gb/s latausnopeus ja 1,5 Gb/s lähetysopeus. [59]

Päivityspolkua LTE:stä LTE Advanced -tekniikkaan on kuvattu 20, jossa jokainen Release otetaan käyttöön asteittain ensin tutkimuskäyttöön ja vasta lopulta kaupalliseen. Kaksi julkaisuversiota siis tulee olemaan päällekkäin käytössä, esimerkiksi kun siirrytään LTE Release 9:stä LTE Advancediin (Release 10).



Kuva 20. Kehityspolku LTE Advancediin. [60]

10 Pohdinta

Vaikka mobiili-WiMAX tuli markkinoille muutamaa vuotta ennen LTE:tä, kilpailu näiden kahden tekniikan välillä on kääntymässä LTE:n voitoksi. Teknisesti LTE on siirtonopeuksiltaan ja muillakin alueilla mobiili-WiMAXia kehittyneempi mutta ehkä tätäkin tärkeämpi näkökulma LTE:n hyväksi on sen hyvä tuki päätelaite-markkinoilla ja suosio operaattoreiden keskuudessa.

Koska mobiili-WiMAX käyttää pelkästään korkeita taajuuskaistoja, sillä ei ole kannattavaa tehdä koko maan kattavaa verkkoa signaalin vaimenemisen takia. Mobiili-WiMAX on hyvä vaihtoehto paikallisten verkkojen toteutukseen ja siinä on olemassa päivitysmahdollisuus LTE-tekniikkaan. LTE on yleistymässä kovaa vauhtia mutta jo seuraavat tekniikat (WiMAX 2 ja LTE Advanced) ovat jo tulossa. Joka tapauksessa sekä 3G ja 4G tulevat toimimaan rinnakkain ainakin vielä 2020-luvulla [61], sillä nykyisten 3G-verkkojen laajuutta on hankala toteuttaa 4G-tekniikoilla.

Tulevaisuuden langattomissa verkoissa nopeuksien lisäksi tärkeää tulevat olemaan laitteiden virrankulutuksen minimointi, parantunut päätelaitteiden liikkuvuus ja kehittyneempi eri taajuusalueiden käyttö. 4G:tä seuraava 5G toisi mukanaan jopa 10 Gb/s teoreettisen latausnopeuden sekä millisekunnin viiveen

tukiaseman ja päätelaitteen välillä. Standardoinnin on tarkoitus alkaa 2016–2017, jotta tekniikka voisi olla valmis käyttöön vuonna 2020. [62]

10.1 Työnjako

Tämä opinnäytetyö toteutettiin parityönä. Aihealue ei ollut meille ennestään tuttu, sillä koulutusohjelmamme painotus on enemmän lähiverkoissa ja verkoissa tarjottavissa palveluissa. Tästä johtuen opinnäytetyön aihealueet sisälsivät meille paljon uutta asiaa, joten ajan säästämiseksi teoriaosuudet ja kirjoitustehtävät pyrittiin jakamaan kutakuinkin tasan.

Ari-Matin kirjoittamia osuuksia olivat matkapuhelinverkkojen historia ja aikaisemmat sukupolvet, tulevaisuuden näkymät, LTE-teknologia ja mobiili-WiMAXin vertailu LTE:n sekä mobiili-WiMAXin modulaatiotekniikat, yleiset tiedot ja käyttökohteet. Anssin vastuulla olivat muut mobiili-WiMAXin tekniset ominaisuudet (verkon rakenne, päätelaitteet, MIMO, liikkuvuus, virransäästö ja QoS), mittauksiin ja tuloksiin liittyvät tekstiosuudet. Lopun tulevaisuuden näkymät ja pohdinnat jaettiin tasan.

Lopuksi työ käytiin yhdessä läpi, että molemmat ryhmän osapuolet pääsivät kommentoimaan toistemme tekstiä sekä viimeistelemään kieliasun lopulliseen muotoonsa. Käytännön osuudet teimme kaikki yhdessä. Mittauksissa jaoimme työosuudet niin, että kummatkin pääsivät kirjaamaan ylös tuloksia sekä myös toimimaan mittausautomme kuljettajana.

10.2 Tavoitteet ja tulokset

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan erittäin opettavainen ja mielenkiintoinen. Yhteistyö yrityksen kanssa ja sitä kautta saatu ulkopuolinen toimeksianto oli motivoivaa. Opinnäytetyö oli opettavainen myös sen takia, että Karelia-ammattikorkeakoulussa koulutusohjelmamme painotus on lähiverkoissa ja sen palveluissa, ja varsinaisia operaattoritekniikoita on käyty vain pikaisesti yhdellä tai kahdella kurssilla läpi. Opinnäytetyön myötä meille jäi myös hyvä kokonaiskuva nykyisistä ja tulevaisuudessa käyttöön tulevista langattomista tekniikoista.

Jätkikäteen mittauksia pohdittaessa monen asian olisi voinut tehdä eri tavalla. Mittausmenetelmä ei ehkä manuaalisuudessaan ollut kaikkein tehokkain työskentelytapa. Jos uusia mittauskohteita vielä olisi, käyttäisimme enemmän aikaa erilaisten mittaustyökalujen etsimiseen ja tutkimiseen. Työkalujen ansiosta mittausten tekeminen olisi nopeampaa ja tulokset informatiivisempia ja helppolukuisempia.

Opinnäytetyöprosessi oli ajallisesti hyvinkin pitkä sen alkaessa jo lokakuussa 2012. Kokonaispituuteen vaikuttivat monet asiat, ja siihen sisältyi paljon odotettua (verkkojen käyttöönotto, kilpailuviranomaisen päätös), jotka osaltaan vaikuttivat aikataulumme ja myös lopulliseen opinnäytetyön aihealueen rajaukseen. Työ saatiin lopulta tavoitteiden mukaisesti valmiiksi aikataulussaan, ja opinnäytetyön teoriaosuuksiin sekä mittaustulosten informatiivisuuteen oltiin tyytyväisiä toimeksiantaja Telekarelian puolelta.

Lähteet

1. Lawson, Stephen. 17.12.2010. ITU softens on the definition of 4G mobile. Network World Inc.
<http://www.networkworld.com/news/2010/121710-itu-softens-on-the-definition.html> [luettu 10.6.2013]
2. Klemettilä, Pasi. 25.4.2013. Elisan ja PPO:n kaupalle kilpailuviranomaisen lupa. Kaleva Oy. <http://www.kaleva.fi/uutiset/talous/elisan-ja-ppon-kaupalle-kilpailuviranomaisen-lupa/628254/> [luettu 13.6.2013]
3. Telekarelia Oy. Telekarelia. Telekarelia Oy.
<http://www.telekarelia.fi/telekarelia/> [luettu 13.6.2013]
4. Telekarelia Oy. Yrityksille. Telekarelia Oy.
<http://www.telekarelia.fi/yrityksille/> [luettu 13.6.2013]
5. Telekarelia Oy. Yksityisille. Telekarelia Oy.
<http://www.telekarelia.fi/yksityisille/> [luettu 13.6.2013]
6. Telekarelia Oy. 10.6.2013. Telekarelia sulautuu Elisaan. Telekarelia Oy.
<http://www.telekarelia.fi/uutiset/ajankohtaista/telekarelia-sulautuu-elisaan/> [luettu 13.6.2013]
7. Telekarelia Oy. 22.8.2013. Telekarelian yhtiökokous hyväksyi Telekarelia Oy:n sulautumisen Elisa Oyj:hin. Telekarelia Oy.
<http://www.telekarelia.fi/uutiset/ajankohtaista/telekarelian-yhtioekokous-hyvaeksyi-telekarelia-oy-n-sulautumisen-elisa-oyjhin/> [28.8.2013]
8. Bhalla, Mudit Ratana & Bhalla, Anand Vardhan. 2010. Generations of Mobile Wireless Technology: A Survey. International Journal of Computer Applications.
<http://www.ijcaonline.org/volume5/number4/pxc3871282.pdf> [luettu 18.6.2013]
9. Elisa. Elisan matkapuhelin- ja mobiililaajakaistaverkon nopeudet. Elisa Oyj. <http://asiakastuki.elisa.fi/ohje/99/> [luettu 18.6.2013]
10. Penttinen, Jyrki. Tietoliikennetekniikka - Perusverkot ja GSM. Werner Söderström Osakeyhtiö. Helsinki. 2006. ISBN 951-0-29605-8
11. Penttinen, Jyrki. Tietoliikennetekniikka - 3G ja erityisverkot. Werner Söderström Osakeyhtiö. Helsinki. 2006. ISBN 951-0-31255-X
12. Blajic, T., Nogulic, D. & Druzijanic, M. Latency Improvements in 3G Long Term Evolution. Ericsson.
http://www.ericsson.com/hr/about/events/archieve/2007/mipro_2007/mipro_1137.pdf [luettu 19.6.2013]
13. Poole, Ian. Dual carrier HSPA: DC-HSPA, DC-HSDPA. Adrio Communications Ltd. <http://www.radio->

- electronics.com/info/cellulartelecomms/3g-hspa/dc-dual-carrier-hspa-hsdpa.php [luettu 19.6.2013]
14. FreeWiMAXInfo. 2012. What is Wimax Technology (IEEE 802.16). Freewimaxinfo.com. <http://freewimaxinfo.com/> [luettu 20.6.2013]
 15. Kioskea. 2013. WiMAX-periaate. CCM Benchmark Group. <http://static.commentcamarche.net/en.kioskea.net/pictures/wimax-images-wimax-backhaul.png> [luettu 29.8.2013]
 16. Eklund, Carl, Marks, Roger B., Stanwood, Kenneth L. & Wang, Stanley. 2002. IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the Wireless-MAN™ Air Interface for Broadband Wireless Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. http://grouper.ieee.org/groups/802/16/docs/02/C80216-02_05.pdf [luettu 20.6.2013]
 17. Marks, Roger, Chang, Dean & McCabe, Karen. IEEE 802.16a™ Sets Stage for Deploying Fixed Broadband Wireless for High-Speed Multimedia Network Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <http://www.ieee802.org/16/news/030129.html> [luettu 20.6.2013]
 18. Ramos, Francisco. Kuva LOS:n ja NLOS:n eroista. Radioenlaces.es. <http://www.radioenlaces.es/wp-content/uploads/2011/05/los-nlos.png> [viitattu 29.8.2013]
 19. WiMAX Forum. 2006. Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation. WiMAX Forum. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf [luettu 20.6.2013]
 20. Peters, Steven W. & Heath, Robert W. Jr. 11.12.2008. The Future of WiMAX: Multihop Relaying with IEEE 802.16j. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. http://www.kumasignals.com/newsite/wp-content/uploads/2013/05/peters_heath_kumasignals_80216j_article.pdf [luettu 20.6.2013]
 21. IEEE. 13.1.2010. Overview of IEEE P802.16m Technology and Candidate RIT For IMT-Advanced. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. http://docbox.etsi.org/3gppETSI/2010-01-13_ITU-R_IMT-Adv_eval_IEEEwkshp/L80216-10_0002.pdf [luettu 21.6.2013]
 22. Churchill, Sam. 1.4.2011. IEEE 802.16n: 10GigE?. Dailywireless.org. <http://www.dailywireless.org/2011/04/01/ieee-802-16n-10gige/> [luettu 21.6.2013]
 23. Tranzeo. 2009. Fixed vs Mobile WiMAX. Tranzeo Wireless Technologies Inc. http://www.streakwave.com/tranzeo/WP_Tranzeo_WiMAX_WEB.pdf [luettu 28.6.2013]
 24. Laajakaistayhteyksien operaattorirajapinnat -työryhmän Broadband Wireless Access (BWA)-alatyöryhmä. 2005. Langattomat laajakaistarat-

- kaisut. Viestintävirasto.
<http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/1158858938123/TRaportti082005.pdf> [luettu 1.8.2013]
25. ECEE University of Colorado at Boulder. Wireless802.11a. University of Colorado.
<http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/wlana/wireless802.11a.html> [luettu 30.8.2013]
 26. ECEE University of Colorado at Boulder. Kuva modulaatioiden vaihesiirrosta. University of Colorado.
http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/wlana/wireless802.11a_html_4adda8d1.jpg [viitattu 30.8.2013]
 27. Hannula, Harri. 2013. Palveluiden tuottaminen mobiili-WiMAX-verkossa. Tampereen teknillinen yliopisto.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21439/hannula.pdf?sequence=1> [luettu 4.7.2013]
 28. Juniper Networks Inc. WiMAX Network Reference Model. Juniper Networks Inc.
https://www.juniper.net/techpubs/software/aaa_802/sbrs/sbrs70/sw-sbrs-admin/html/WiMAX_Overview3.html [luettu 4.7.2013]
 29. Telekarelia Oy. Liikkuva laajakaista 4G. Telekarelia Oy.
<http://www.telekarelia.fi/yksityisille/nettiyhteydet/4g/> [luettu 4.7.2013]
 30. Miller, Matthew. 12.11.2008. HTC announces world's first GSM/WiMAX mobile phone. CBS Interactive. <http://www.zdnet.com/blog/cell-phones/htc-announces-worlds-first-gsmwimax-mobile-phone/249> [luettu 4.7.2013]
 31. Morris, John. 9.10.2008. Laptops with mobile WiMax now available. CBS Interactive. <http://www.zdnet.com/blog/computers/laptops-with-mobile-wimax-now-available/242> [luettu 4.7.2013]
 32. Lime Microsystems. 2013. Enabling multimode MIMO. Lime Microsystems.
http://www.limemicro.com/case_studies/?case=Azcom§or=default [luettu 5.8.2013]
 33. Baumgärtner, Benjamin. 5.4.2011. Wikipedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Prinzip_MIMO.svg [viitattu 7.8.2013]
 34. WiMAX Forum. 2007. A Comparative Analysis of Mobile WiMAX™ Deployment Alternatives in the Access Network. WiMAX Forum.
http://kambing.ui.ac.id/onnopurbo/library/library-ref-eng/ref-eng-3/physical/wimax/2007/mobile_wimax_deployment_alternatives.pdf [luettu 7.8.2013]
 35. Hosny, Waleed. 2007. WiMAX Antennas Primer – A guide to MIMO and Beamforming. WH-Consult. <http://www.wh-consult.com/WiMAX%20Antennas%20Primer%20->

%20A%20Guide%20to%20MIMO%20and%20Beamforming%20-%2027%20May%2007.pdf [luettu 7.8.2013]

36. WiMAX Forum. 2005. Requirements and Recommendations for WiMAX Forum Mobility Profiles. WiMAX Forum.
http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2009/08/WMF-T21-001-R010v01%20Rel%201.0%20Mobility%20Profile%20Requirements.pdf [luettu 22.7.2013]
37. Peltonen, Sami. Opinnäytetyöhön liittyvät kysymykset [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anssi Turunen. Lähetetty 13.8.2013.
38. TechNet. 2003. What Is QoS?. Microsoft.
[http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757120\(v=ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc757120(v=ws.10).aspx) [luettu 29.7.2013]
39. Tranzeo Wireless Technologies Inc. 2010. WiMAX QoS Classes. Tranzeo Wireless Technologies Inc.
http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_WiMAX_QoS_Classes_Whitepaper.pdf [luettu 29.7.2013]
40. Eberle, Dieter. LTE vs. WiMAX - 4th generation telecommunication networks. Service-centric Networking. http://www.snet.tu-berlin.de/fileadmin/fg220/courses/WS1011/snet-project/lte-vs-wimax_eberle.pdf [luettu 29.7.2013]
41. Sonera. 4G langaton laajakaista. Telia Sonera Oyj. www.sonera.fi/4G [luettu 6.9.2013]
42. DNA. 3.6.2013. Kuuluvuuskartta. DNA Oy.
<http://www.dna.fi/yksityisille/puhe/Kuuluvuus/kuuluvuuskartta/Sivut/Default.aspx> [luettu 6.9.2013]
43. Elisa. 2013. Kuuluvuus. Elisa Oyj. <http://www.elisa.fi/kuuluvuus/> [luettu 6.9.2013]
44. 4G Americas. 2013. LTE: Long Term Evolution. 4G Americas.
<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=249> [luettu 6.8.2013]
45. Telekarelia Oy. 2013. 4G-saatavuus. Telekarelia Oy.
<http://4gsaatavuus.telekarelia.fi/> [luettu 13.8.2013]
46. Peltonen, Sami. Opinnäytetyöhön liittyvät kysymykset [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anssi Turunen. Lähetetty 12.8.2013.
47. Siemens. Kuva Siemens Euroset 2015 -puhelimesta. Onedirect.
<http://d.onedirect.com/pics/siemens/Analogic/Siemens%20Euroset%205015/siemens-euroset-2015.jpg> [viitattu 1.8.2013]

48. Linksys. Kuva Linksys SPA2012 -adapterista. Ebay.
<http://xf7.xanga.com/5f5e043319c35281790737/o224561486.jpg> [viitattu 1.8.2013]
49. Peltonen, Sami. Mittauksista [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Anssi Turunen. Lähetetty 11.1.2013
50. Mölsä, Seppo. 7.9.2012. Ambulanssia ei voi aina soittaa matalaenergiataloon. Suomen Rakennuslehti Oy.
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/energiatehokkuus/29280.html> [luettu 13.8.2013]
51. Hassan, Yousif. Make Your Wi-Fi Hi-Fi: The "Truth" About Wireless Signal Interference. Lamneth Enterprises LLC. <http://www.far-far-away.com/~yousif/articles/wifi-sig.php> [luettu 13.8.2013]
52. Nuaymi, Loutfi. WiMAX Technology for Broadband Wireless Access. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England. 2007. ISBN 978-0-470-02808-7.
http://books.google.fi/books?id=Kvf5bdM9QIYC&lpg=PA95&ots=oHAOe_63_T&dq=wimax%20bsid&hl=fi&pg=PP1#v=onepage&q&f=false [luettu 17.6.2013]
53. Telekarelia Oy. VoiP-liittymät. Telekarelia Oy.
<http://telekarelia.fi/yksityisille/puheliittymaet/voip-liittymaet/> [luettu 2.7.2013]
54. WiMAX Forum. 2009. WiMAX™, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis. WiMAX Forum.
http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_hspa+and_lte_111809_final.pdf [luettu 8.8.2013]
55. WiMAX Forum. 2010. WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard. WiMAX Forum.
http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_802.16m.pdf [luettu 16.9.2013]
56. Wright, Maury. WiMAX 2 Promises Downstream Bandwidth Exceeding 100Mbps/s. Digi-Key Corporation.
<http://www.digikey.com/us/en/techzone/wireless/resources/articles/WiMAX-2-Promises-Downstream-Bandwidth-Exceeding-100Mbps.html> [luettu 14.8.2013]
57. Poole, Ian. LTE CA: Carrier Aggregation Tutorial. Adrio Communications Ltd. <http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/lte-long-term-evolution/4g-lte-advanced-carrier-channel-aggregation.php> [luettu 15.8.2013]
58. Wannstrom, Jeanette. 2012. LTE-Advanced. 3GPP.
<http://www.3gpp.org/lte-advanced> [luettu 16.9.2013]
59. Bleicher, Ariel. 26.8.2013. Korean Telcos Advance Toward LTE-Advanced. IEEE Spectrum.

<http://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/korean-telcos-advance-toward-lteadvanced> [luettu 16.9.2013]

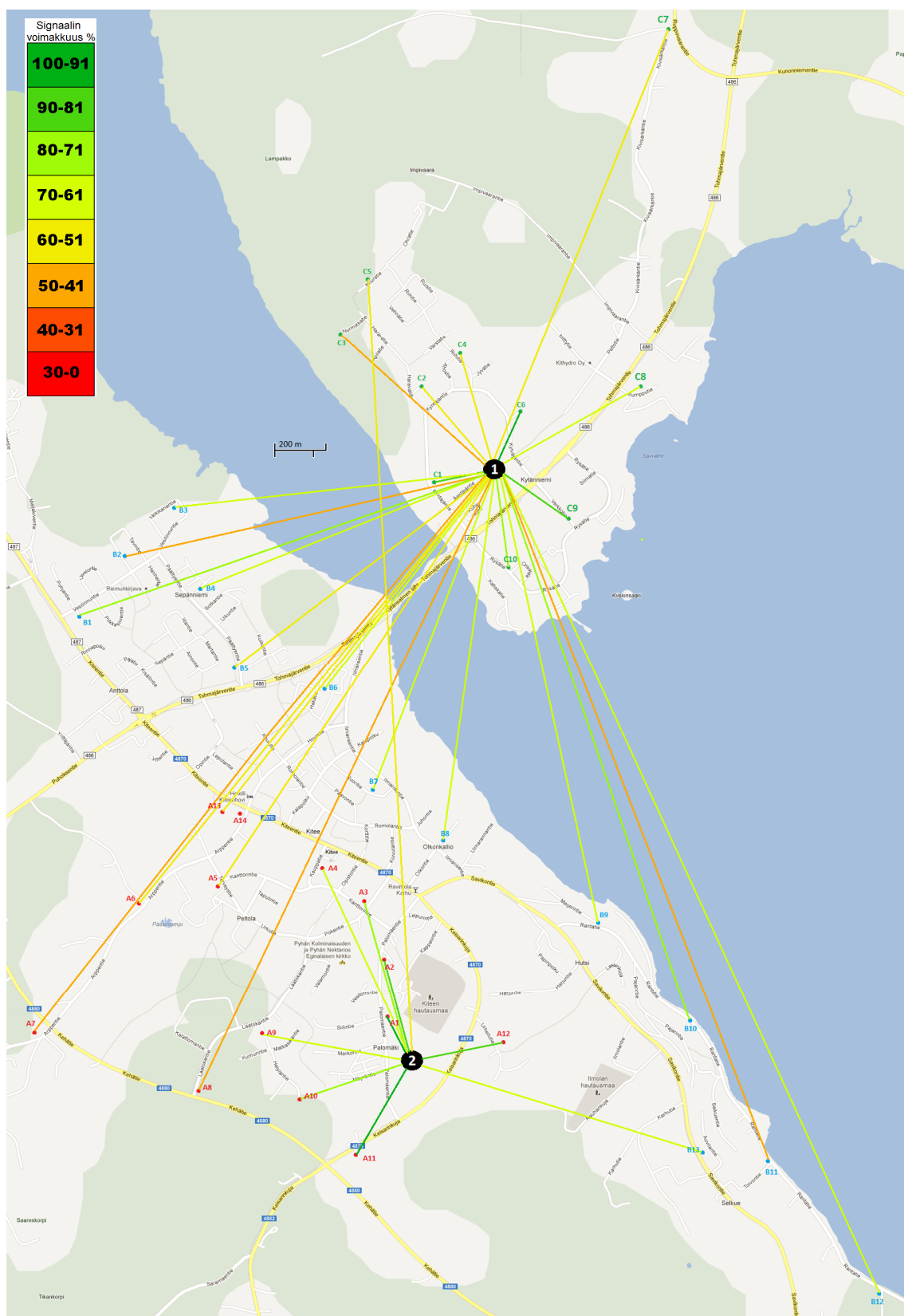
60. Qualcomm. 18.7.2013. A strong LTE evolution path. Qualcomm Technologies Inc.
http://www.qualcomm.com/sites/default/files/document/files/wireless-networks-lte_advanced-leading_in_chipsets_and_evolution.v6.20130827.pdf [luettu 19.9.2013]
61. Saunalahti Oy. 2013. Usein kysytyt kysymykset 4G:stä. Saunalahti Oy.
<http://asiakastuki.saunalahti.fi/ohje/350/> [luettu 23.9.2013]
62. Lehto, Tero. 26.8.2013. Ei töki enää – 5g satakertaistaa vauhdin. Sonoma Magazines Finland Oy.
http://www.3t.fi/artikkeli/uutiset/teknologia/ei_toki_ena_5g_satakertaistaa_vauhdin [luettu 9.9.2013]
63. Vilches, Jose. 29.4.2010. Everything You Need To Know About 4G Wireless Technology. Techspot Inc.
<http://www.techspot.com/guides/272-everything-about-4g/> [luettu 18.6.2013]

Kitee 5.10.2012 kuuluvuusmittaukset: tulokset

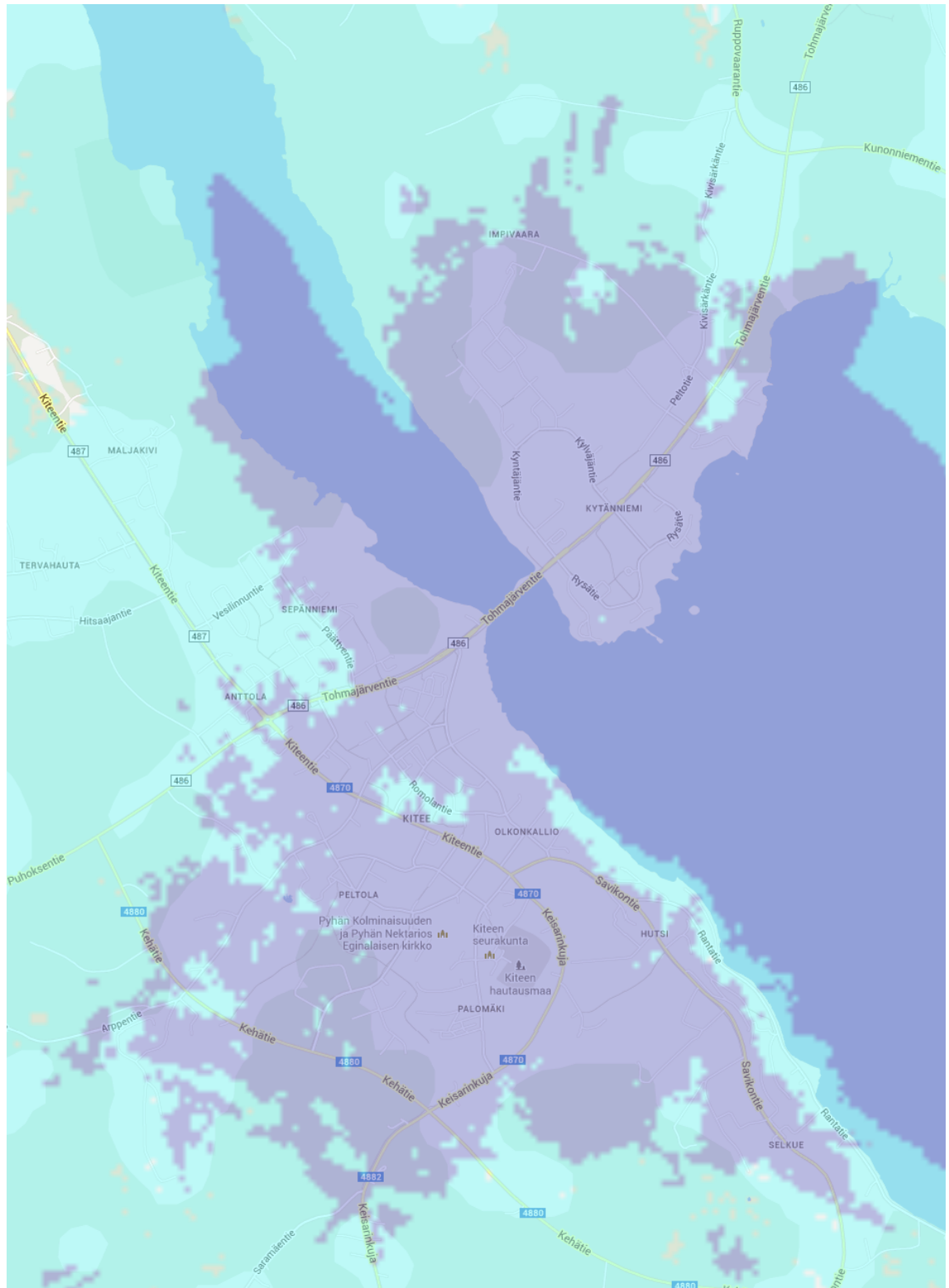
Mittauspiste	Reititin: BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
A1	00:00:81:11:F9:20	93	91	34,60	-46,00	
A2	00:00:81:11:F9:20	81	90	34,00	-56,10	
A3	00:00:81:11:F9:20	80	89	33,60	-56,80	75ms 15,2M/4,2M
A4	00:00:81:11:F9:20	61	73	23,70	-72,70	125ms 14,2M/1,2M
A5	00:00:81:11:F8:20	60	72	23,10	-73,60	120ms 13,8M/1,0M
A6	00:00:81:11:F8:20	55	65	19,00	-77,60	
A7	00:00:81:11:F8:10	44	50	9,70	-87,00	
A8	00:00:81:11:F8:10	48	57	13,90	-83,00	
A9	00:00:81:11:F9:10	70	83	29,60	-65,10	94ms 17,4M/3,8M
A10	00:00:81:11:F9:10	75	86	31,60	-61,40	89ms 18,1M/4,1M
A11	00:00:81:11:F9:10	91	94	36,10	-47,45	90ms 28,0M/3,7M
A12	00:00:81:11:F9:00	82	90	33,70	-55,40	82ms 21,1M/3,8M
A13	00:00:81:11:F8:20	59	71	22,40	-74,40	
B1	00:00:81:11:F8:20	71	85	30,90	-64,00	71ms 15,4M/2,5M
B2	00:00:81:11:F8:20	47	55	12,75	-84,05	132ms 4,3M/0,2M
B3	00:00:81:11:F8:20	63	74	24,60	-71,50	130ms 6,9M/1,9M
B4	00:00:81:11:F8:20	61	73	23,45	-72,40	76ms 12,3M/1,4M
B5	00:00:81:11:F8:20	58	68	20,50	-74,60	78ms 10,1M/1,5M
B6	00:00:81:11:F8:20	66	72	24,70	-69,00	85ms 12,5M/2,5M
B7	00:00:81:11:F8:20	65	71	22,70	-68,60	72ms 5,8M/2,3M
B8	00:00:81:11:F9:20/F8:10	67	80	28,10	-67,40	79ms 16,2M/2,3M
B9	00:00:81:11:F8:10	67	80	27,50	-67,20	82ms 13,8M/2,6M
B10	00:00:81:11:F8:10	75	84	30,20	-60,90	71ms 19,1M/3,7M
B11	00:00:81:11:F8:10	48	53	12,60	-82,90	106ms 4,4M/0,3M
B12	00:00:81:11:F8:10	65	77	26,15	-69,10	
B13	00:00:81:11:F9:00	63	74	24,40	-70,40	87ms 13,9M/2,3M
C1	00:00:81:11:F8:20	85	88	32,50	-53,00	120ms 18,3M/3,8M
C2	00:00:81:11:F8:00	58	69	21,30	-74,90	112ms 9,8M/1,3M
C3	00:00:81:11:F8:00	46	53	11,70	-84,80	
C4	00:00:81:11:F8:00	51	61	16,40	-80,45	107ms 7,7M/0,5M
C5	00:00:81:11:F9:20	54	64	18,70	-78,20	
C6	00:00:81:11:F8:00	99	91	34,50	-41,10	
C7	00:00:81:11:F8:00	59	70	22,00	-74,40	74ms 11,4M/1,5M
C8	00:00:81:11:F8:00	67	80	27,80	-67,60	
C9	00:00:81:11:F8:10	84	90	33,80	-53,60	
C10	00:00:81:11:F8:10	77	87	32,20	-59,10	

Mittauspiste	Tikku: Signaalin voimakkuus (%)	Tikku: CINR (dB)	Tikku: RSSI (dBm)	Tikku: speedtest
A1	100	37	-51	
A2	100	33	-60	104 ms 21,1M/3,9M
A3	100	37	-59	88 ms 15,9M/3,9M
A4	55	20	-75	135 ms 8,4M/0,6M
A5	70	22	-73	151 ms 8,5M/0,4M
A6	70	21	-73	
A7	23	6	-87	
A8	40	14	-83	
A9	90	27	-69	88 ms 15,8M/1,9M
A10	100	31	-64	73 ms 17,5M/4,0M
A11	100	38	-41	73 ms 22,0M/4,1M
A12	100	35	-57	73 ms 19,5M/4,1M
A13	83	21	-73	
A14	100	29	-67	111 ms 16,5M/1,5M
B1	86	25	-70	127 ms 12,0M/1,4M
B2	40	11	-84	308 ms 0,7M/0,02M
B3	70	21	-72	150 ms 12,6M/1,2M
B4	86	24	-73	135 ms 7,5M/1,0M
B5	70	22	-74	135 ms 8,8M/1,1M
B6	90	24	-68	136 ms 12,5M/1,3M
B7	83	25	-69	136 ms 8,4M/1,6M
B8	100	27	-65	120 ms 13,6M/2,6M
B9	86	25	-68	120 ms 18,2M/1,6M
B10	100	31	-60	120 ms 22,0M/3,8M
B11	43	11	-82	198 ms 3,6M/0,2M
B12	100	29	-64	
B13	86	25	-68	136 ms 13,2M/2,3M
C1	100	32	-53	120 ms 19,2M/3,8M
C2	95	26	-68	120 ms 21,0M/2,7M
C3	40	9	-84	
C4	50	14	-80	150ms 2,6M/0,1M
C5	36	11	-86	
C6	100	38	-44	
C7	63	19	-76	151 ms 8,7M/0,5M
C8	83	24	-70	
C9	83	24	-70	
C10	100	31	-60	

Kitee 5.10.2012 kuuluvuusmittaukset: kartta



Kitee: Telekarelian simuloitu kuuluvuuskartta



Lieksa 12.11.2012 kuuluvuusmittaukset: tulokset

Mittauspiste	BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
A1	00:00:81:12:5C:10	87	93	35,3	-50,3	151ms 25,9M/2,4M
A2	00:00:81:12:5C:10	74	82	29,0	-61,5	167ms 15,0M/2,4M
A3	00:00:81:12:5C:10	73	84	30,0	-62,1	151ms 11,6M/3,2M
A4	00:00:81:12:5C:10	81	88	31,5	-55,7	166ms 7,4M/1,7M
A5	00:00:81:12:5C:10	71	81	28,4	-64,3	151ms 3,9M/1,6M
A6	00:00:81:12:5C:10	63	70	21,6	-71,1	167ms 3,2M/1,0M
A7	00:00:81:12:5C:10	53	62	17,4	-79,0	
A8	00:00:81:12:5C:10	68	80	27,9	-66,3	
A9	00:00:81:12:5C:20	72	84	30,4	-63,0	
A10	00:00:81:12:5C:20	76	86	31,4	-60,1	
A11	00:00:81:12:5C:20	65	77	26,2	-69,1	
A12	00:00:81:12:5C:20	62	74	24,0	-72,0	
A13	00:00:81:12:5C:20	54	64	18,3	-78,2	
A14	00:00:81:12:5C:20	58	69	21,5	-75,0	
A15	00:00:81:12:5C:20	53	62	16,8	-79,5	
A16	00:00:81:12:5C:20	42	47	7,8	-88,6	
A17	00:00:81:12:5C:20	51	52	11,2	-81,1	
A18	00:00:81:12:5C:20	53	57	13,8	-79,0	
A19	00:00:81:12:5C:20	63	44	6,5	-70,8	
A20	00:00:81:12:5C:20	65	64	18,8	-69,7	
A21	00:00:81:12:5C:20	54	55	12,9	-78,6	
A22	00:00:81:12:5C:20	51	41	4,2	-80,4	
A23	00:00:81:12:5C:20	66	78	26,8	-68,8	
A24	00:00:81:12:5C:20	59	68	20,7	-74,2	
A25	00:00:81:12:5C:20	53	62	17,2	-79,1	
A26	00:00:81:12:5C:20	55	64	18,3	-77,9	
A27	00:00:81:12:5C:20	46	53	11,8	-84,8	
B1	00:00:81:12:5E:00	78	69	21,2	-58,8	84ms 14,4M/4,1M
B2	00:00:81:12:5D:00	67	81	28,1	-67,4	117ms 2,6M/1,5M
B3	00:00:81:12:5D:00	61	72	23,3	-73,1	
B4	00:00:81:12:5D:20	59	66	28,3	-74,4	
B5	00:00:81:12:5E:00	82	81	28,4	-55,0	
B6	00:00:81:12:5E:00	74	78	26,4	-62,4	
B7	00:00:81:12:5E:00	81	81	28,3	-56,2	
B8	00:00:81:12:5E:00	62	60	15,7	-71,6	
B9	00:00:81:12:5E:00	62	62	17,2	-72,0	
B10	00:00:81:12:5E:00	53	50	10,0	-79,3	
B11	00:00:81:12:5D:00	54	63	17,9	-78,1	
B12	00:00:81:12:5D:00	94	93	35,6	-45,5	
B13	00:00:81:12:5E:00	83	85	31,1	-54,3	

jatkuu

(jatkuu)

Mittauspiste	BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
B14	00:00:81:12:5E:00	98	93	35,5	-41,8	
B15	00:00:81:12:5E:00	96	90	34,1	-43,7	
B16	00:00:81:12:5E:00	72	68	20,8	-63,3	
B17	00:00:81:12:5E:00	47	38	2,9	-84,8	
B18	00:00:81:12:5E:10	75	74	24,6	-61,1	
B19	00:00:81:12:5E:10	80	74	24,6	-56,6	
B20	00:00:81:12:5E:10	83	78	27,2	-54,1	
B21	00:00:81:12:5E:20	92	91	34,4	-46,8	
B22	00:00:81:12:5E:20	68	75	24,7	-66,5	
B23	00:00:81:12:5E:20	58	68	20,6	-74,7	
C1	00:00:81:12:5E:10	74	71	22,5	-61,3	
C2	00:00:81:12:5E:10	73	71	22,5	-62,5	
C3	00:00:81:12:5E:10	62	60	15,8	-71,7	
C4	00:00:81:12:5E:10	63	66	19,3	-71,4	
C5	00:00:81:12:5E:10	62	56	13,7	-72,0	
C6	00:00:81:12:5E:10	56	58	14,7	-76,8	
C7	00:00:81:12:5E:10	56	54	12,6	-76,4	
C8	00:00:81:12:5E:10	53	49	9,1	-79,6	
C9	00:00:81:12:5E:10	56	51	10,4	-76,5	
C10	00:00:81:12:5F:20	69	82	29,1	-66,0	
C11	00:00:81:12:5F:00	72	84	30,1	-63,8	
C12	00:00:81:12:5F:00	39	44	6,0	-91,0	
C13	00:00:81:12:5F:10	40	43	5,4	-89,9	
C14	00:00:81:12:5F:20	62	71	22,2	-71,5	
C15	00:00:81:12:5E:20	50	49	9,4	-82,0	
C16	00:00:81:12:5E:20	64	70	21,8	-69,9	
C17	00:00:81:12:5E:20	56	55	13,2	-76,8	
C18	00:00:81:12:5E:20	46	52	11,2	-84,7	
C19	00:00:81:12:5E:20	69	66	19,5	-65,6	
C20	00:00:81:12:5E:20	60	47	7,8	-73,2	
C21	00:00:81:12:5C:10	82	91	34,5	-54,9	

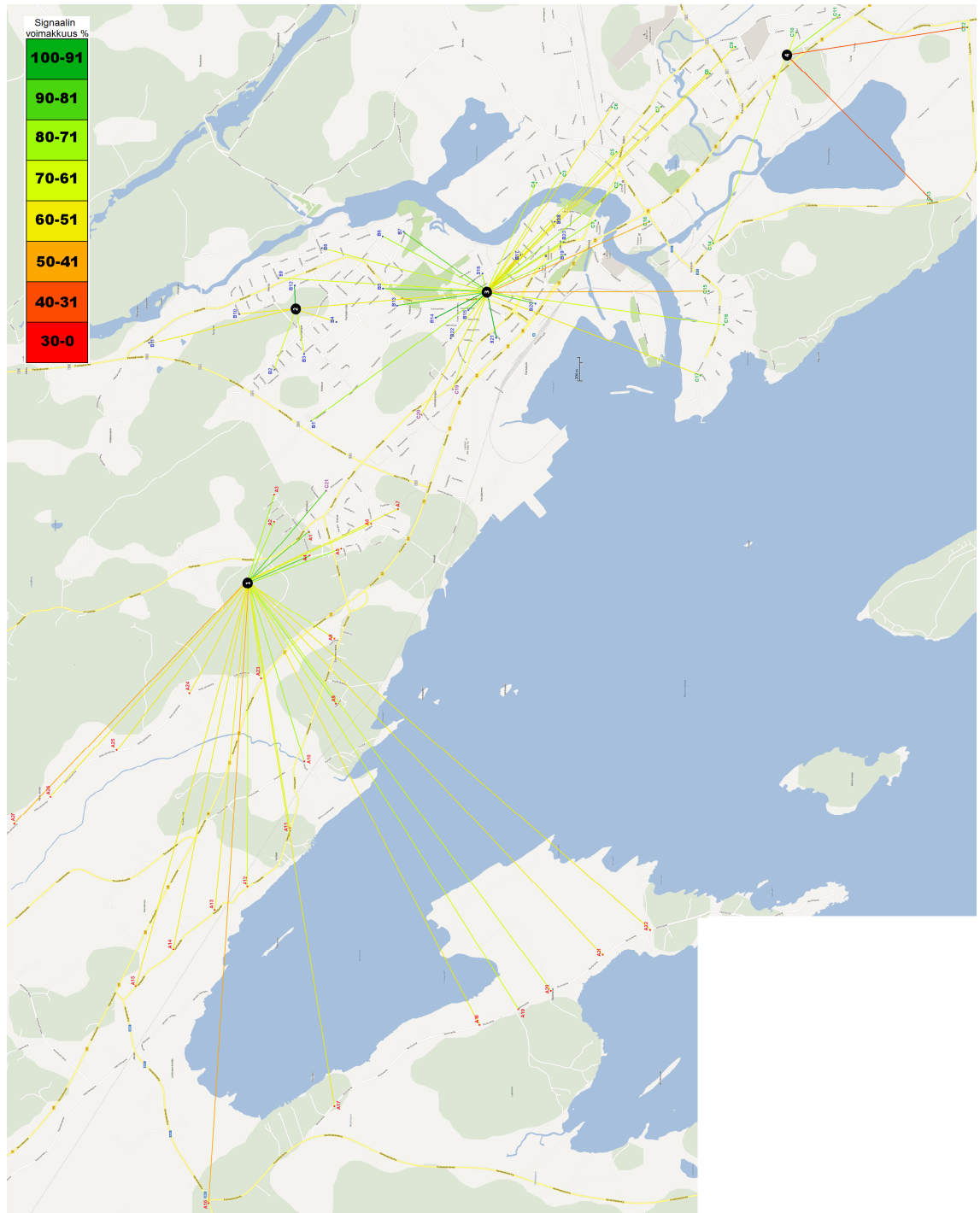
Mittauspiste	Tikku: Signaalin voimakkuus (%)	Tikku: CINR (dB)	Tikku: RSSI (dBm)	Tikku: speedtest
A1	100	35	-57	151ms 20,2M/3,8M
A2	100	34	-58	120ms 12,9M/3,7M
A3	100	29	-62	135ms 11,5M/2,7M
A4	100	32	-57	120ms 13,2M/3,8M
A5	100	28	-63	135ms 10,1M/3,9M
A6	86	22	-67	151ms 2,1M/1,4M
A7	83	26	-70	151ms 4,6M/1,7M
A8	73	20	-73	152ms 5,2M/1,2M
A9	100	30	-61	135ms 14,9M/3,1M
A10	100	34	-58	120ms 17,0M/4,0M
A11	76	23	-73	135ms 10,6M/0,8M
A12	76	23	-73	151ms 10,2M/1,1M
A13	73	15	-77	135ms 5,4M/0,5M
A14	56	19	-76	136ms 6,8M/0,6M
A15	50	14	-79	167ms 6,1M/0,3M
A16	33	8	-84	292ms 0,9M/0,02M
A17	33	9	-86	-
A18	66	17	-73	151ms 9,0M/0,7M
A19	86	9	-67	136ms 4,6M/1,2M
A20	100	17	-64	120ms 10,7M/2,2M
A21	56	12	-79	167ms 4,9M/0,3M
A22	43	6	-80	167ms 2,4M/0,1M
A23	86	25	-65	120ms 13,7M/1,8M
A24	70	21	-72	135ms 9,4M/1,4M
A25	56	13	-79	167ms 4,0M/0,2M
A26	60	20	-76	120ms 8,7M/0,4M
A27	53	11	-84	291ms 0,9M/0,03M
B1	100	24	-60	120ms 12,9M/3,8M
B2	100	36	-53	136ms 9,4M/3,6M
B3	100	35	-52	135ms 9,2M/3,6M
B4	100	21	-62	89ms 7,1M/2,8M
B5	100	27	-54	89ms 18,4M/3,8M
B6	100	28	-54	135ms 17,0M/3,8M
B7	100	29	-50	151ms 14,6M/3,8M
B8	80	16	-72	151ms 8,0M/1,4M
B9	63	15	-74	151ms 10,2M/0,9M
B10	60	10	-77	151ms 3,9M/0,2M
B11	43	17	-79	183ms 5,M/0,2M
B12	100	37	-52	151ms 9,2M/3,8M
B13	100	31	-55	135ms 19,4M/3,7M

jatkuu

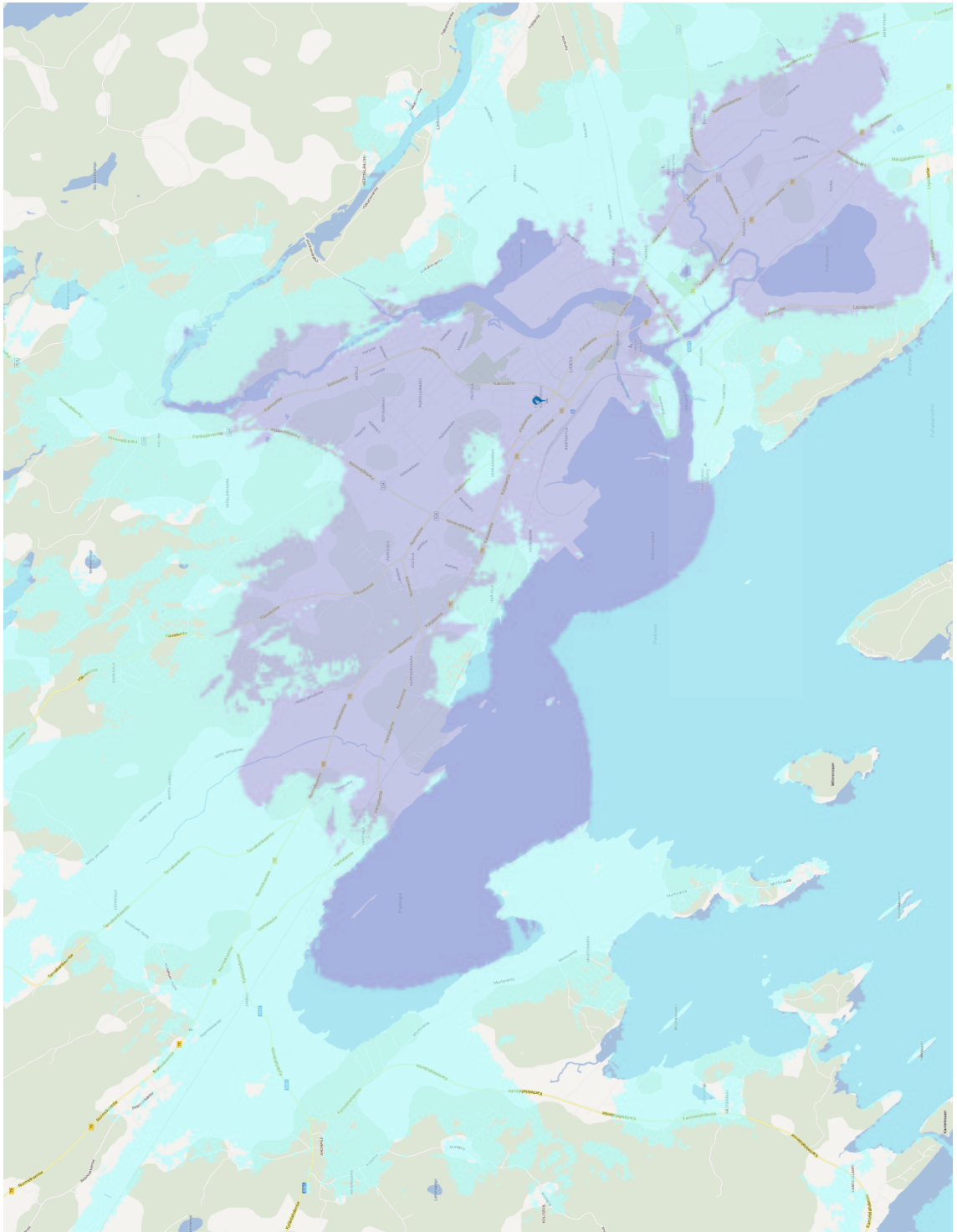
(jatkuu)

Mittauspiste	Tikku: Signaalin voimakkuus (%)	Tikku: CINR (dB)	Tikku: RSSI (dBm)	Tikku: speedtest
B14	100	39	-37	120ms 19,6M/3,7M
B15	100	36	-50	135ms 18,4M/3,8M
B16	100	30	-56	135ms 20,7M/3,7M
B17	100	30	-55	131ms 16,4M/3,7M
B18	100	26	-54	136ms 13,9M/3,7M
B19	100	25	-58	135ms 13,5M/3,7M
B20	100	32	-52	135ms 16,7M/3,8M
B21	100	35	-53	135ms 18,6M/3,7M
B22	100	27	-59	120ms 14,7M/3,7M
B23	70	18	-76	151ms 8,0M/1,3M
C1	100	20	-60	135ms 10,7M/3,5M
C2	100	26	-56	120ms 11,1M/3,6M
C3	90	16	-70	120ms 6,2M/1,4M
C4	83	17	-72	151ms 11,2M/1,6M
C5	86	16	-71	152ms 7,7M/1,1M
C6	76	17	-71	136ms 6,1M/1,3M
C7	66	11	-75	136ms 4,6M/0,4M
C8	73	11	-76	152ms 5,7M/0,3M
C9	53	11	-79	182ms 4,0M/0,3M
C10	100	36	-48	104ms 18,5M/3,9M
C11	100	32	-61	120ms 15,9M/3,9M
C12	20	7	-87	354ms 0,3M/0,01M
C13	-	-	-	-
C14	76	18	-75	120ms 8,1M/0,5M
C15	50	13	-76	105ms 4,5M/0,4M
C16	90	21	-69	120ms 13,6M/2,8M
C17	66	14	-75	-
C18	70	21	-73	120ms 7,7M/1,3M
C19	96	21	-66	-
C20	100	24	-66	88ms 12,1M/1,6M
C21	100	33	-60	136ms 15,6M/3,8M

Lieksa 12.11.2012 kuuluvuusmittaukset: kartta



Lieksa: Telekarelian simuloitu kuuluvuuskartta



Joensuu 23.1. - 24.1.2013 kuuluvuusmittaukset: tulokset

Mittauspiste	SSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
A1	00:00:81:0C:89:10	93	87	30,4	-46,1	
A2	00:00:81:0C:89:10	92	88	32,5	-47,0	
A3	00:00:81:0C:89:10	57	51	10,5	-76,2	
A4	00:00:81:0C:89:10	57	58	14,3	-75,7	
A5	00:00:81:0C:81:10	63	66	19,3	-71,0	
A6	00:00:81:0C:84:10	55	55	13,0	-77,8	224ms 5,3M/0,9M
A7	00:00:81:0C:80:20	44	43	13,5	-87,0	
A8	00:00:81:0C:81:10	76	80	28,3	-60,5	156ms 15,6M/2,8M
A9	00:00:81:0C:81:00	90	88	32,8	-48,6	161ms 14,6M/3,5M
A10	00:00:81:0C:81:00	88	88	32,8	-47,8	
A11	00:00:81:0C:8A:10	64	59	15,2	-70,2	182ms 8,5M/2,1M
A12	00:00:81:0C:81:10	73	76	26,0	-62,7	154ms 15,4M/3,5M
A13	00:00:81:0C:89:20	73	73	23,8	-62,7	
A14	00:00:81:0C:89:20	70	64	18,3	-64,3	162ms 11,2M/3,5M
A15	00:00:81:0C:84:10	78	70	22,0	-58,5	
A16	00:00:81:0C:84:10	78	75	25,0	-58,5	150ms 15,2M/3,4M
A17	00:00:81:0C:89:20	71	69	21,3	-63,9	
A18	00:00:81:0C:89:20	80	82	28,7	-56,5	
A19	00:00:81:0C:89:00	96	87	32,7	-43,0	157ms 17,5M/3,5M
A20	00:00:81:0C:84:10	100	89	32,9	-38,1	
A21	00:00:81:0C:89:00	78	73	24,0	-57,0	172ms 16,2M/3,5M
A22	00:00:81:0C:89:00	75	63	17,9	-60,8	
B1	00:00:81:0C:80:00	72	57	14,1	-63,2	110ms 5,9M/2,8M
B2	00:00:81:0C:80:00	80	76	25,3	-57,2	
B3	00:00:81:0C:88:00	100	89	31,1	-39,9	154ms 17,2M/3,5M
B4	00:00:81:0C:88:00	100	91	34,5	-24,4	
B5	00:00:81:0C:88:10	100	89	33,2	-33,3	170ms 18,7M/3,4M
B6	00:00:81:0C:88:10	70	60	31,1	-65,2	
B7	00:00:81:0C:84:00	81	75	24,7	-55,7	158ms 14,4M/3,5M
B8	00:00:81:0C:84:20	88	85	30,9	-50,4	
B9	00:00:81:0C:88:10	75	67	19,9	-60,3	177ms 14,10M/3,4M
B10	00:00:81:0C:88:10	75	78	26,4	-60,5	
B11	00:00:81:0C:88:00	76	72	22,9	-59,8	173ms 17,0M/3,4M
B12	00:00:81:0C:88:20	61	47	8,2	-72,0	
B13	00:00:81:0C:84:20	70	68	20,8	-65,1	158ms 9,7M/3,2M
B14	00:00:81:0C:84:10	72	63	17,7	-63,1	
B15	00:00:81:0C:8A:10	79	73	22,9	-58,0	174ms 15,1M/3,5M
B16	00:00:81:0C:8A:10	71	71	22,3	-63,9	
B17	00:00:81:0C:8A:10/00	57	52	11,0	-76,2	206ms 6,3M/0,9M
B18	00:00:81:0C:88:20	62	54	12,4	-72,0	
B19	00:00:81:0C:88:20	75	71	22,3	-61,0	166ms 9,9M/3,4M
B20	00:00:81:0C:8A:10	61	52	11,5	-72,7	

jatkuu

(jatkuu)

Mittauspiste	BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
C1	00:00:81:0C:8A:10	100	93	35,7	-37,0	163ms 15,4M/3,2M
C2	00:00:81:0C:81:10	76	73	24,0	-59,7	
C3	00:00:81:0C:8A:00	89	89	33,5	-49,7	164ms 17,0M/3,4M
C4	00:00:81:0C:8A:00	86	82	29,0	-52,5	
C5	00:00:81:0C:8A:00	75	77	26,3	-60,7	174ms 12,8M/3,5M
C6	00:00:81:0C:8A:00	66	70	21,9	-68,2	
C7	00:00:81:0C:8A:00	75	72	22,8	-61,0	148 ms 16,1M/3,4M
C8	00:00:81:0C:8A:20	60	67	20,4	-73,0	185ms 8,8M/1,4M
C9	00:00:81:0C:8A:00	43	44	6,2	-87,7	
C10	00:00:81:0C:8A:00	45	45	7,5	-86,7	186ms 2,6M/0,2M
C11	00:00:81:0C:8A:00	43	42	5,0	-87,1	154ms 2,8M/0,1M
C12	00:00:81:0C:8A:00	55	60	16,1	-77,6	227ms 3,0M/0,3M
C13	00:00:81:0C:83:00	53	46	7,0	-79,1	215ms 4,7M/0,9M
C14	00:00:81:0C:8B:00	47	40	4,1	-83,8	
C15	00:00:81:0C:88:20	69	58	15,0	-65,0	101ms 9,2M/3,0M
C16	00:00:81:0C:8A:00	42	44	6,4	-88,5	
C17	00:00:81:0C:8A:00	43	43	4,9	-87,7	
D1	00:00:81:0C:80:00	84	79	27,5	-53,0	
D2	00:00:81:0C:80:00	87	78	26,9	-50,9	
D3	00:00:81:0C:80:20	91	85	31,1	-47,2	172ms 14,8M/3,2M
D4	00:00:81:0C:80:20	67	63	18,1	67,6	
D5	00:00:81:0C:89:10	59	64	18,5	-74,1	
D6	00:00:81:0C:80:10	74	80	28,2	-61,7	180ms 14,2/3,4M
D7	00:00:81:0C:80:10	63	67	20,4	-70,9	
D8	00:00:81:0C:8B:20	60	71	22,6	-73,0	159ms 14,7M/1,3M
D9	00:00:81:0C:8B:20	60	71	22,3	-73,0	224ms 3,1M/1,3M
D10	00:00:81:0C:8B:20	60	67	20,5	-72,7	
D11	00:00:81:0C:80:10	53	61	16,5	-78,8	240ms 4,6M/0,4M
D12	00:00:81:0C:80:10	59	64	18,5	-74,1	207ms 5,5M/0,9M
D13	00:00:81:0C:8B:20	63	75	25,0	-71,0	178ms 14,1M/2,2M
D14	00:00:81:0C:8B:20	63	76	25,5	-70,0	
D15	00:00:81:0C:8B:20	59	71	22,5	-74,1	194ms 11,0M/1,4M
D16	00:00:81:0C:8B:20	54	63	18,0	-78,0	
D17	00:00:81:0C:8B:10	64	77	26,2	-69,9	
D18	00:00:81:0C:8B:10	56	66	19,4	-76,9	174ms 3,7M/1,7M
D19	00:00:81:0C:8B:10	67	80	27,8	-67,1	166ms 5,6M/2,0M
D20	00:00:81:0C:8B:10	78	89	35,5	-58,0	
D21	00:00:81:0C:8B:10	73	84	30,5	-61,8	
D22	00:00:81:0C:8B:10	70	82	29,1	-64,7	163ms 12,3M/3,1M
D23	00:00:81:0C:8B:10	71	84	30,4	-64,4	
D24	00:00:81:0C:8B:10	52	63	17,5	-79,4	184ms 2,2M/1,3M
D25	00:00:81:0C:8B:10	47	55	13,1	-83,8	

jatkuu

(jatkuu)

Mittauspiste	BSID	Reititin: Signaalin voimakkuus (%)	Reititin: Linkin laatu (%)	Reititin: CINR (dB)	Reititin: RSSI (dBm)	Reititin: speedtest
E1	00:00:81:0C:8B:10	78	88	33,0	-58,3	145ms 16,4M/3,5M
E2	00:00:81:0C:8B:20	66	77	25,8	-68,2	
E3	00:00:81:0C:8B:20	77	87	32,3	-59,4	177ms 17,9M/3,5M
E4	00:00:81:0C:8B:20	62	72	23,2	-71,8	
E5	00:00:81:0C:8B:20	65	72	23,1	-69,2	187ms 16,1M/2,2M
E6	00:00:81:0C:8B:10	89	92	35,2	-48,7	
E7	00:00:81:0C:8B:10	74	87	32,1	-61,2	
E8	00:00:81:0C:8B:10	63	72	23,4	-70,3	
E9	00:00:81:0C:8B:10	61	71	22,7	-72,3	164ms 6,6M/2,3M
E10	00:00:81:0C:8B:10	56	66	19,4	-76,8	
E11	00:00:81:0C:8B:10	70	83	30,1	-64,6	
E12	00:00:81:0C:8B:10	77	89	33,2	-59,4	147ms 12,0M/3,4M
E13	00:00:81:0C:8B:10	68	76	25,8	-66,9	
E14	00:00:81:0C:8B:10	85	83	29,8	-52,8	
E15	00:00:81:0C:8B:10	70	75	24,8	-65,0	150ms 16,3M/2,6M
E16	00:00:81:0C:8B:10	77	84	30,5	-59,3	
E17	00:00:81:0C:8B:00	86	75	25,0	-51,9	156ms 6,5M/3,1M
E18	00:00:81:0C:8B:00	85	89	33,1	-52,5	
E19	00:00:81:0C:8B:00	79	87	32,3	-56,8	
E20	00:00:81:0C:8B:00	84	79	27,6	-53,6	181ms 20,9M/3,5M
E21	00:00:81:0C:8B:00	64	53	11,5	-69,8	
E22	00:00:81:0C:80:00	73	69	21,3	-62,1	180ms 8,1M/3,3M
E23	00:00:81:0C:80:00	77	73	24,3	-58,9	
E24	00:00:81:0C:80:00	75	67	20,0	-61,1	
E25	00:00:81:0C:80:00	100	87	32,2	-36,4	159ms 15,5M/3,5M
E26	00:00:81:0C:80:10	88	82	29,4	-49,9	
E27	00:00:81:0C:80:10	73	63	17,5	-62,6	161ms 9,5M/3,5M
E28	00:00:81:0C:8B:10	62	64	19,0	-70,9	
E29	00:00:81:0C:8B:20	61	60	15,9	-72,7	
E30	00:00:81:0C:8B:20	71	81	28,7	-64,3	156ms 12,8M/3,4M
F1	00:00:81:0C:80:10	65	74	24,3	-69,1	
F2	00:00:81:0C:8B:20	47	52	11,0	-84,1	226ms 4,7M/0,2M
F3	00:00:81:0C:80:10	60	68	21,0	-73,3	
F4	00:00:81:0C:8B:20	62	70	22,0	-71,2	
F5	00:00:81:0C:80:10	62	61	16,4	-72,1	
F6	00:00:81:0C:8B:20	65	63	17,8	-69,4	
F7	00:00:81:0C:80:10	75	77	26,4	-60,5	153ms 17,4M/3,4M
F8	00:00:81:0C:80:20	79	81	28,8	-57,5	
F9	00:00:81:0C:80:20	83	72	23,4	-54,3	
F10	00:00:81:0C:80:00	89	69	21,1	-49,0	163ms 7,1M/3,4M

Mittauspiste	Tikku: BSID	Tikku: Signaalin voimakkuus (%)	Tikku: CINR (dB)	Tikku: RSSI (dBm)	Tikku: speedtest
A1		100	26	-52	
A2		100	30	-51	
A3		55	13	-77	
A4		66	15	-75	
A5		85	18	-71	
A6		65	13	-76	226ms 2,6M/0,6M
A7		38	8	-84	
A8		100	29	-60	139ms 16,1M/2,6M
A9		97	20	-64	140ms 16,2M/3,3M
A10		100	34	-51	
A11	00:00:81:0C:8A:10	93	19	-66	126ms 7,7M/1,3M
A12	00:00:81:0C:8A:10	100	25	-64	
A13	00:00:81:0C:89:20	98	19	-67	
A14	00:00:81:0C:89:20	100	20	-63	140ms 11,2M/2,2M
A15	00:00:81:0C:84:10	100	20	-56	
A16	00:00:81:0C:84:10	100	28	-56	126ms 14,3M/3,5M
A17	00:00:81:0C:89:20	100	19	-65	
A18	00:00:81:0C:89:10	97	19	-66	
A19	00:00:81:0C:89:20	100	31	-42	125ms 15,9M/3,4M
A20	00:00:81:0C:84:10	100	34	-40	
A21	00:00:81:0C:89:00	100	28	-52	123ms 13,4M/3,4M
A22	00:00:81:0C:89:00	100	23	-57	
B1	00:00:81:0C:80:00	100	18	-61	120ms 11,8M/3,5M
B2	00:00:81:0C:88:00	100	22	-59	
B3	00:00:81:0C:88:00	100	38	-35	120ms 14,7M/3,5M
B4	00:00:81:0C:88:00	100	36	-35	
B5	00:00:81:0C:88:10	100	35	-38	136ms 16,7M/3,5M
B6	00:00:81:0C:89:00	100	11	-65	
B7	00:00:81:0C:89:00	100	11	-65	104ms 9,5M/3,2M
B8	00:00:81:0C:84:20	100	32	-51	
B9	00:00:81:0C:84:20	100	30	-55	104ms 12,2M/3,3M
B10	00:00:81:0C:88:10	100	24	-60	
B11	00:00:81:0C:88:00	100	26	-59	120ms 14,5M/3,4M
B12	00:00:81:0C:88:00	83	19	-70	
B13	00:00:81:0C:88:00	83	19	-70	167ms 6,6M/1,6M
B14	00:00:81:0C:84:10	98	16	-66	
B15	00:00:81:0C:84:10	98	22	-62	136ms 14,6M/3,3M
B16	00:00:81:0C:8A:10	100	23	-65	
B17	00:00:81:0C:8A:00	53	7	-80	167ms 2,3M/0,2M
B18	00:00:81:0C:8A:00	72	15	-73	
B19	00:00:81:0C:88:20	100	28	-58	135ms 9,9M/3,4M
B20	00:00:81:0C:8A:10	75	8	-73	

jatkuu

(jatkuu)

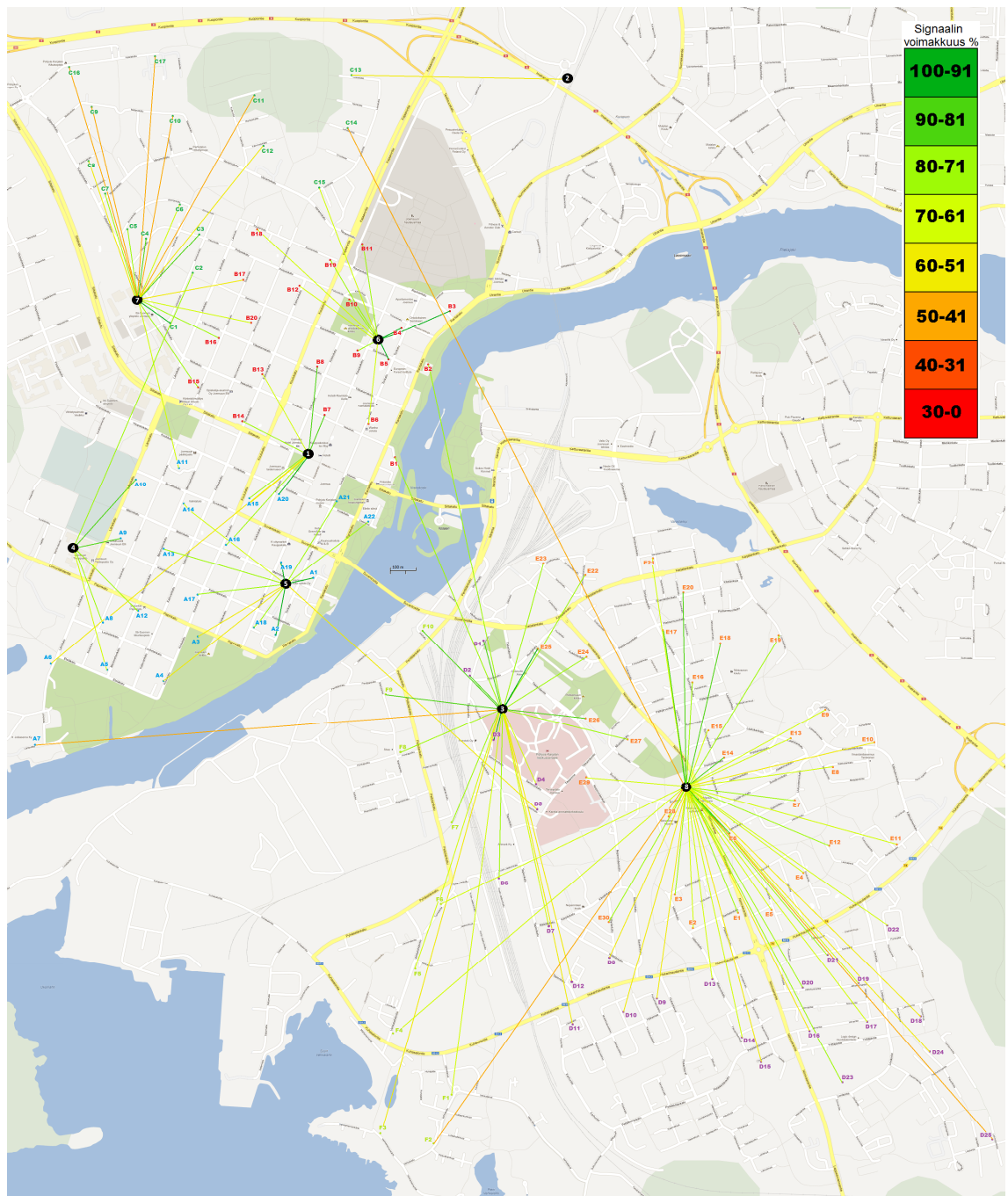
Mittauspiste	Tikku: BSID	Tikku: Signaalin voimakkuus (%)	Tikku: CINR (dB)	Tikku: RSSI (dBm)	Tikku: speedtest
C1	00:00:81:0C:8A:10	100	39	-38	135ms 15,4M/3,2M
C2	00:00:81:0C:8A:10	100	24	-59	
C3	00:00:81:0C:8A:00	100	27	-58	104ms 18,2M3,6M
C4	00:00:81:0C:8A:00	100	31	-55	
C5	00:00:81:0C:8A:00	100	25	-59	90ms 10,7M/3,0M
C6	00:00:81:0C:8A:00	100	23	-65	
C7	00:00:81:0C:8A:00	100	22	-66	105ms 11,6M/2,3M
C8	00:00:81:0C:8A:20	85	26	-71	104ms 11,2M/1,2M
C9	00:00:81:0C:8A:20	85	19	-69	
C10	00:00:81:0C:8A:00	85	9	-81	167ms 2,4M/0,2M
C11	00:00:81:0C:8A:00	22	12	-77	
C12	00:00:81:0C:8A:00	76	19	-73	151ms 7,6M/1,4M
C13	00:00:81:0C:83:00	63	12	-76	212ms 4,2M/0,2M
C14	00:00:81:0C:83:10	15	1	-91	
C15	00:00:81:0C:88:20	90	16	-65	136ms 4,6M/1,7M
C16	00:00:81:0C:8A:20	26	7	-87	
C17	00:00:81:0C:8B:00	16	3	-90	
D1	00:00:81:0C:80:00	100	30	-47	
D2	00:00:81:0C:80:00	100	27	-51	
D3	00:00:81:0C:80:20	100	34	-49	104ms 14,4M/3,5M
D4	00:00:81:0C:80:20	90	19	-68	
D5	00:00:81:0C:80:20	96	19	-66	
D6	00:00:81:0C:80:20	97	23	-65	120ms 13,6M/1,5M
D7	00:00:81:0C:80:10	100	28	-58	
D8	00:00:81:0C:80:10/ 8B:20	90	25	-65	73ms 8,8M/1,4M
D9	00:00:81:0C:8B:20	84	24	-70	137ms 11,3M/1,0M
D10	00:00:81:0C:8B:20	81	22	-71	
D11	00:00:81:0C:8B:20/ 80:10	68	17	-76	
D12	00:00:81:0C:80:10	78	18	-71	151ms 11,2M/0,9M
D13	00:00:81:0C:8B:20	75	20	-74	74ms 12,5M/1,7M
D14	00:00:81:0C:8B:20	90	26	-68	
D15	00:00:81:0C:8B:20	85	24	-71	120ms 11,6M/1,4M
D16	00:00:81:0C:8B:20	76	22	-72	
D17	00:00:81:0C:8B:20	71	18	-74	
D18	00:00:81:0C:8B:20/ 8B:10	58	16	-77	153ms 4,4M/0,4M
D19	00:00:81:0C:8B:10	93	26	-68	135ms 10,7M/1,4M
D20	00:00:81:0C:8B:10	100	36	-55	
D21	00:00:81:0C:8B:10	100	33	-58	
D22	00:00:81:0C:8B:10	96	27	-67	136ms 14,9M/2,4M
D23	00:00:81:0C:8B:10	86	28	-67	
D24	00:00:81:0C:8B:10	66	20	-75	151ms 2,8M/0,2M
D25	00:00:81:0C:8B:10	56	14	-81	

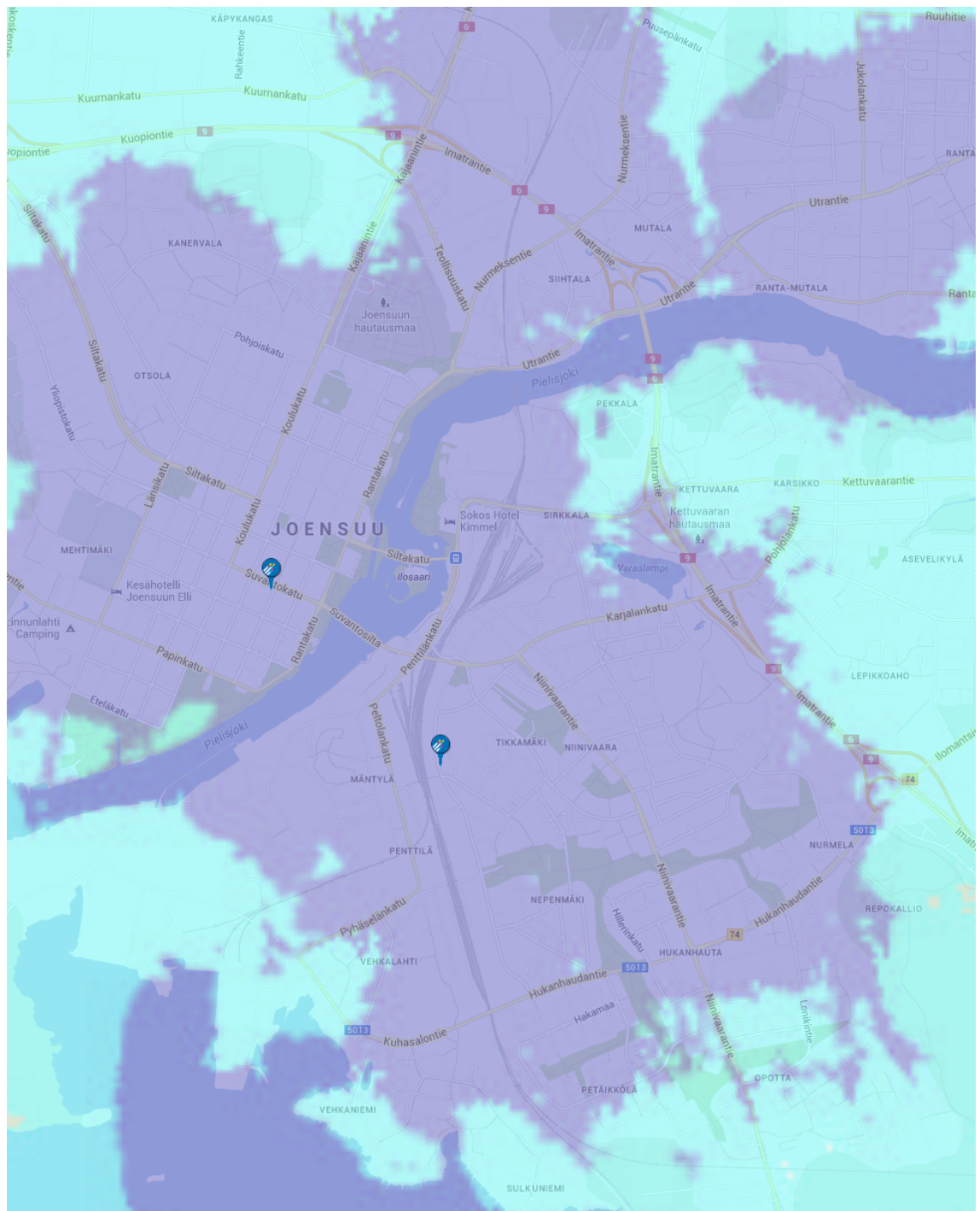
jatkuu

(jatkuu)

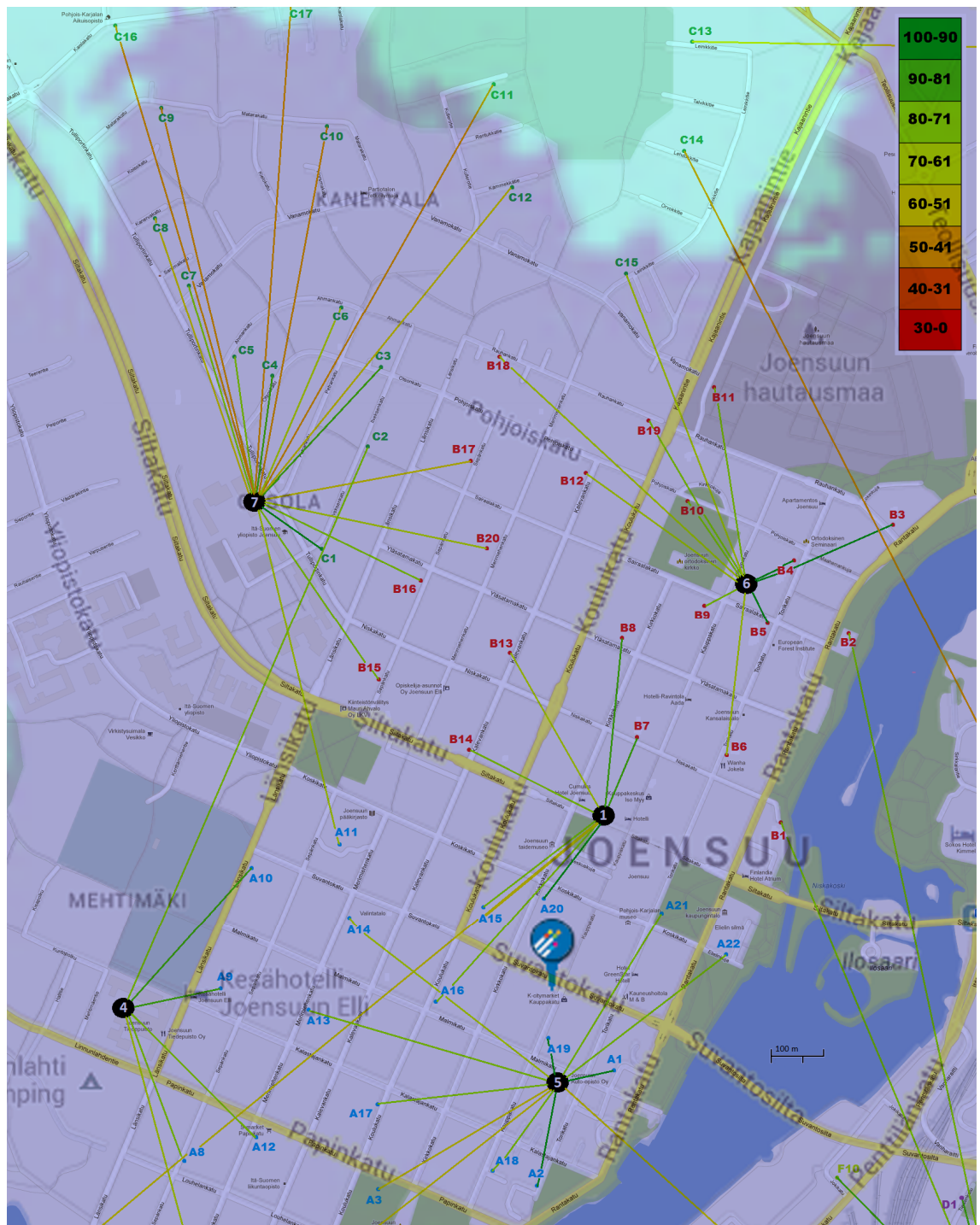
Mittauspiste	Tikku: BSID	Tikku: Signaalin voimakkuus (%)	Tikku: CINR (dB)	Tikku: RSSI (dBm)	Tikku: speedtest
E1	00:00:81:0C:8B:10	100	35	-57	105ms 14,0M/3,4M
E2	00:00:81:0C:8B:10	87	27	-68	
E3	00:00:81:0C:8B:10	90	26	-68	87ms 10,7M/2,8M
E4	00:00:81:0C:8B:10	100	29	-62	
E5	00:00:81:0C:8B:10	100	36	-58	135ms 18,3M/3,5M
E6	00:00:81:0C:8B:10	100	39	-42	
E7	00:00:81:0C:8B:10	100	39	-47	
E8	00:00:81:0C:8B:10	100	39	-47	
E9	00:00:81:0C:8B:10	97	31	-58	120ms 11,5M/2,5M
E10	00:00:81:0C:8B:00	66	18	-76	
E11	00:00:81:0C:8B:10	100	30	-65	
E12	00:00:81:0C:8B:10	100	36	-58	73ms 13,9M/2,3M
E13	00:00:81:0C:8B:10	82	24	-71	
E14	00:00:81:0C:8B:10	100	28	-59	
E15	00:00:81:0C:8B:00	100	38	-47	88ms 12,1M/3,5M
E16	00:00:81:0C:8B:00	100	38	-41	
E17	00:00:81:0C:8B:00	100	28	-55	120ms 12,5M/3,6M
E18	00:00:81:0C:8B:00	100	35	-51	
E19	00:00:81:0C:8B:00	100	32	54	
E20	00:00:81:0C:8B:00	100	31	-56	109ms 13,7M/3,4M
E21	00:00:81:0C:8B:00	100	18	-64	
E22	00:00:81:0C:8B:00	100	18	-64	104ms 12,0M/2,5M
E23	00:00:81:0C:80:00	100	23	-61	
E24	00:00:81:0C:80:10	100	15	-61	
E25	00:00:81:0C:80:00	100	34	-31	104ms 13,3M/3,5M
E26	00:00:81:0C:80:10	100	29	-52	
E27	00:00:81:0C:80:10	100	30	-49	73ms 11,3M/3,5M
E28	00:00:81:0C:8B:10	100	33	-57	
E29	00:00:81:0C:8B:20	83	17	-69	
E30	00:00:81:0C:8B:20	100	33	-59	72ms 15,6M/3,3M
F1	00:00:81:0C:8B:20	93	24	-67	
F2	00:00:81:0C:8B:20	46	13	-81	167ms 2,7M/0,1M
F3	00:00:81:0C:8B:20	63	15	-76	
F4	00:00:81:0C:8B:20	63	15	-76	
F5	00:00:81:0C:80:20	66	15	-77	
F6	00:00:81:0C:8B:20	100	22	-64	
F7	00:00:81:0C:80:20	100	33	-58	120ms 11,7M/3,4M
F8	00:00:81:0C:80:20	100	31	-54	
F9	00:00:81:0C:80:20	100	30	-48	
F10	00:00:81:0C:80:20	100	21	-55	120ms 11,3M/2,8M

Joensuu 23.1. – 24.1.2013 kuuluvuusmittaukset: kartta





Joensuu: simuloitu kartta ja mittaustulokset



Joensuu 28.5. – 29.5.2013 palvelunlaatumittaukset: tulokset

Mittauspiste	Signaalin voimakkuus (%)	Linkin laatu (%)	CINR (dB)	RSSI (dBm)	BSID	Äänenlaatu 0-5 VoIP/kännykkä
12	72	79	27,1	-63,4	00:00:81:0C:81:20	5 / 5
14	72	77	26,3	-63,4	00:00:81:0C:80:00	5 / 5
16	70	64	18,2	-64,9	00:00:81:0C:88:20	4 / 4
10	69	69	21,3	-66,1	00:00:81:0C:80:00	5 / 5
15	69	63	18,0	-65,5	00:00:81:0C:80:00	4 / 4
17	65	70	21,9	-69,4	00:00:81:0C:8A:20	5 / 5
9	58	68	21,0	-74,6	00:00:81:0C:85:10	5 / 5
8	56	65	19,2	-76,5	00:00:81:0C:85:10	5 / 5
6	53	62	17,2	-78,9	00:00:81:0C:80:10	5 / 5
20	51	56	13,5	-80,7	00:00:81:0C:8A:20	5 / 5
13	49	58	14,7	-82,0	00:00:81:0C:87:00	4 / 4
2	46	53	11,7	-84,9	00:00:81:0C:8B:10	4 / 4
11	46	48	8,8	-84,8	00:00:81:0C:84:10	3 / 2
1	44	50	10,3	-86,7	00:00:81:0C:8B:10	3 / 1
7	42	47	8,5	-87,9	00:00:81:0C:85:10	2 / 0
18	41	42	5,1	-88,8	00:00:81:0C:80:00	3 / 3
3	37	40	4,2	-92,6	00:00:81:0C:8B:10	3 / 0
19	36	39	3,4	-92,7	00:00:81:0C:80:00	Ei yhteyttä
4	0	0	-	-	-	-
5	0	0	-	-	-	-
21	0	0	-	-	-	-

Joensuu palvelunlaatumittaukset: kartat



