



SWISSQUAL QUALIPOC ANDROID

Älypuhelin-pohjainen 4G-verkon mittaus

Sami Kiiskinen

Opinnäytetyö
Lokakuu 2015
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja
tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

SAMI KIISKINEN:

Swissqual Qualipoc Android
Älypuhelin-pohjainen 4G-verkon mittaus

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Lokakuu 2015

Tämän opinnäytetyön idea lähti siitä kun Tampereen ammattikorkeakoulu päätti hankkia SwissQualin valmistaman mittausohjelman sisältävän älypuhelimien. Ohjelmalla oli tarkoitus mitata teleoperaattoreiden 4G-verkkoja Tampereella Aitolahden, Kämmenniemen, Terälähdän sekä Muroleen alueella. Tarkoituksena oli saada dataa kuuluvuuksista sekä pienemmässä mittakaavassa latausnopeuksista. Käytettiin DNA:n, Elisa/Saunalahden sekä Soneran SIM-kortteja.

Verkon kuuluvuuksissa DNA:lla oli katvealueita, mutta muutoin kuuluvuus oli parempi kuin Soneralla. Elisa/Saunalahdella verkon kuuluvuudessa ei havaittu katvealueita, kuten ei myöskään Soneralla. Soneran verkossa kuuluvuussignaalit olivat heikoimmat muihin verrattuna.

Latausnopeuksista saatu vertailukelpoinen data osoitti, että Soneralla oli alhaisin nopeus. DNA ja Elisa/Saunalahti olivat samalla tasolla, mutta kuitenkin DNA:n latausnopeus oli hieman parempi.

Nämä ensimmäiset mittaukset laitteella osoittautuivat onnistuneiksi ja todettiin laitteen olevan hyvä apuväline 4G-verkkojen mittaamiseen. Uutena projekti-ideana Tampereen ammattikorkeakoulu voisi tutkia omien langattomien verkkojen kuuluvuuksia kampus-alueella.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Information technology
Telecommunications and Networks

SAMI KIISKINEN:
Swissqual Qualipoc Android
Smartphone based 4G network measurement

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 8 pages
October 2015

The idea for this thesis came when Tampere University of Applied Sciences decided to invest into a smartphone that had a measurement application for networks. This measurement application was made by SwissQual. The purpose was to measure different tele-operator 4G networks in Tampere region and specifically in Aitolahti, Kämmenniemi, Terälahti and Murole. The purpose was to get data from reception and in a smaller scale from download speeds. SIM cards were from DNA, Elisa/Saunalahti and Sonera.

In network reception DNA had blind spots but otherwise the reception was better compared to Sonera. No blind spots were noticed in Elisa/Saunalahti's network and neither in Sonera's network. The reception signals in Sonera's network were weaker compared to the other operators.

The comparable data from download speeds obtained showed that Sonera had the lowest rate. DNA and Elisa/Saunalahti were at the same level, but the loading speed with DNA was slightly better.

These first measurements with the device were a success. It was also noticed that the device was a good aid in 4G network measurement. As a new project idea Tampere University of Applied Sciences could inspect their own wireless networks in the campus area using this device.

Key words: telecommunications, mobile network, 4G, LTE

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LTE – VERKOT	7
2.1	LTE	7
2.2	LTE Advanced.....	9
3	QUALIPOC ANDROID	10
3.1	Valmistaja – SwissQual	10
3.2	Yleistä Qualipoc Androidista.....	10
3.3	Käyttöohje perusmittauksien tekemiseen	13
4	4G-VERKKOJEN MITTAUKSET.....	21
4.1	Kuuluvuusmittaukset koko reitiltä.....	23
4.1.1	RSRP-kuvaajat	23
4.1.2	RSSI-kuvaajat	23
4.1.3	RSRQ-kuvaajat	24
4.1.4	SINR-kuvaajat.....	24
4.2	Kuuluvuusmittaukset Kämmenniemessä.....	24
4.2.1	RSRP-kuvaajat	25
4.2.2	RSSI-kuvaajat	26
4.2.3	RSRQ-kuvaajat	26
4.2.4	SINR-kuvaajat.....	26
4.3	Latausnopeusmittaukset.....	26
4.3.1	DNA	27
4.3.2	Elisa / Saunalahti.....	28
4.3.3	Sonera.....	29
4.3.4	Yhteenveto latausnopeuksista	31
5	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	35
	Liite 1. RSRP-kuvaajat koko reitiltä	35
	Liite 2. RSSI-kuvaajat koko reitiltä.....	36
	Liite 3. RSRQ-kuvaajat koko reitiltä.....	37
	Liite 4. SINR-kuvaajat koko reitiltä	38
	Liite 5. RSRP-kuvaajat Kämmenniemessä	39
	Liite 6. RSSI-kuvaajat Kämmenniemessä.....	40
	Liite 7. RSRQ-kuvaajat Kämmenniemessä.....	41
	Liite 8. SINR-kuvaajat Kämmenniemessä	42

ERITYISSANASTO

3GPP	(3 rd Generation Partnership Project) Usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio.
LTE	(Long-Term Evolution) Matkapuhelinverkon standardi huipputaajuuksiin tiedonsiirtoon.
OFDM	(Orthogonal frequency-division multiplexing) Modulointimenetelmä, joka perustuu tiedon siirtoon lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa. Käytössä on useita erilaisia variaatioita.
RSRP	(Reference Signal Received Power) Vastaanotetun signaalin voimakkuus.
RSRQ	(Reference Signal Received Quality) Vastaanotetun signaalin laatu.
RSSI	(Received Signal Strength Indicator) Vastaanotetun signaalin voimakkuus, jossa mukana myös häiriö ja kohina.
SINR	(Signal-to-interference-plus-noise-ratio) Signaalin suhde häiriöön ja kohinaan.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö alkoi ideasta kun Tampereen ammattikorkeakoulu päätti hankkia älypuhelin-pohjaisen mittalaitteen tietoverkkojen mittauksia varten. Aihe ja mittaustapa oli koululle ja opiskelijoille uusi asia. Olimme onnekkaita kun saimme tämän kiinnostavan projektin kesän ajaksi.

Mittalaitteena toimi Samsung Galaxy S5 – älypuhelin, johon oli SwissQual:in toimesta valmiiksi asennettu mittausohjelma. Mittausohjelma oli integroitu puhelimesta toimivaan Android-käyttöjärjestelmään. Projektin tarkoituksena oli ajaa autolla Tampereen itäpuolella Sorilan, Aitolahden, Kämmenniemen, Terälahden ja Muroleen alueella keräten mitausdataa 4G-verkoista. Mittauksissa käytettiin Elisa/Saunalahden, DNA:n ja Soneran 4G SIM-kortteja.

Tavoitteena oli saada mitausdataa eri operaattoreiden 4G-verkoista. Verkoista oli tarkoitus mitata kuuluvuutta, laatua ja signaalin suhdetta häiriöihin sekä kohinaan. Näiden lisäksi haluttiin tutkia hieman latausnopeuksia. Projektissa rajattiin tutkittavia verkkoja siten, että mitattiin vain 4G-verkkoja. Pääasia mittauksissa oli kuuluvuusmittaukset ja latausnopeusmittaukset olivat vain pieni lisä siihen.

Käytännön mittaukset suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa mitattiin 4G-verkon kuuluvuutta ajamalla autolla ennalta määritelty reitti pitäen mittausta päällä koko reitin ajan. Toisessa osassa suoritettiin 4G-verkon latausnopeusmittauksia ennalta määritellyissä paikoissa paikallaan mittaamalla.

Työn alussa käsitellään ensin teoriaa 4G-verkoista ja kerrotaan laitteen valmistajasta sekä mittalaitteesta. Työn keskivaiheessa selostetaan käytännön mittauksia ja esitetään niistä saatua dataa. Työn loppuosassa esitetään yhteenvedo tuloksista ja omia pohdintoja mitausdatasta saatujen tuloksien perusteella.

2 LTE – VERKOT

2.1 LTE

Matkapuhelinverkot ovat kehittyneet aikaisemmista 2G- ja 3G-verkoista. Nykyään puhutaan 4G-verkoista ja 4G-tekniikasta. 4G-tekniikkaan kuuluu myös LTE. Nykyään suurin osa matkapuhelimista ja muista mobiililaitteista tukee 4G-tekniikkaa. Tämäkin tekniikka on jatkuvan kehityksen alla. Verrattuna 2G- tai 3G-tekniikkaan on 4G-tekniikassa omat haasteensa mm. kuuluvuuden ja päätelaitteiden akunkestojen kannalta.

Monet ymmärtävät käsitteiden LTE tai 4G tarkoittavan nopeaa yhteyttä. Mielikuva käyttäjillä on oikea. Päätelaitteen käyttäjä voi itse havaita latausnopeuksien kasvaneen aikaisempiin tekniikoihin verrattuna. Teleoperaattoreille LTE mahdollistaa heidän verkon infrastruktuurin yksinkertaistamista ja kustannuksien vähentämistä samalla kun palvelun laatua saadaan parannettua (Neal Gompa 2015.)

3GPP määrittelee, että LTE on seuraava askel 3G-tekniikalle, joka on käytössä ympäri maailman. LTE korvaa CDMA2000-verkon tarjoten joustavuutta ja tehoa verkkooperaattoreille ja käyttäjille (Neal Gompa 2015).

LTE tarjoaa hyvää, helposti toteutettavaa ja nopeaa verkkopalvelua, jonka viive pysyy alhaisena suurillakin etäisyyksillä (Neal Gompa 2015).

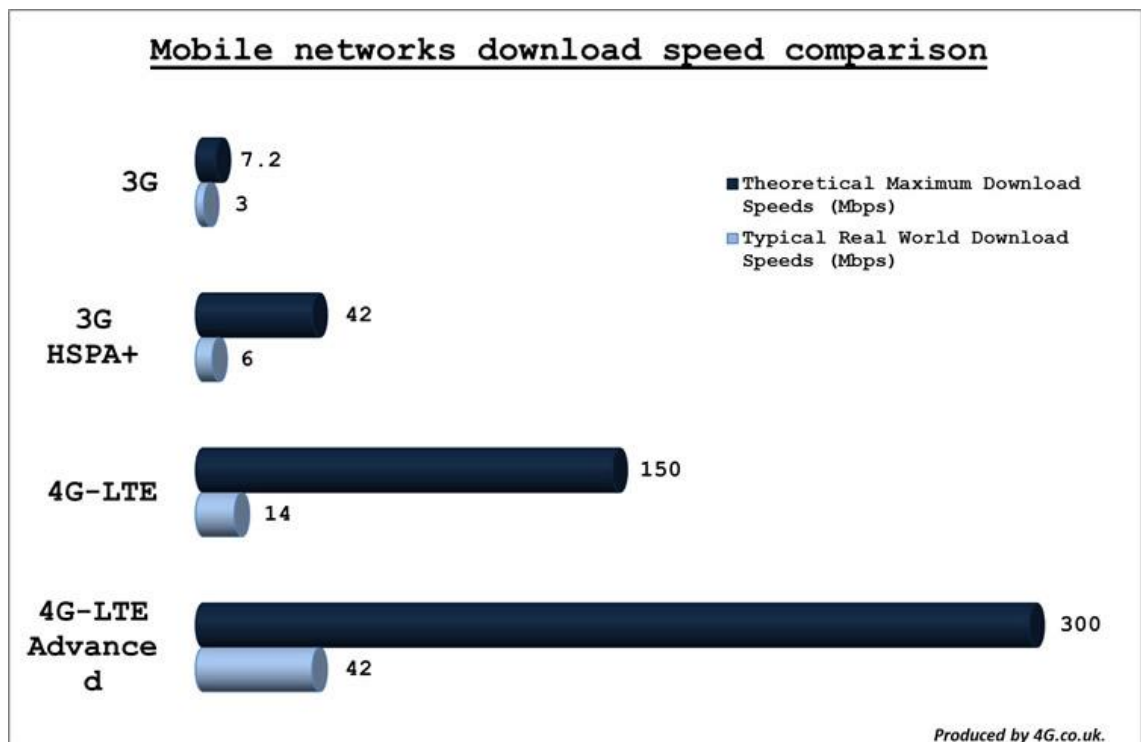
LTE käyttää kahta erilaista rajapintaa: downlink ja uplink (Neal Gompa 2015). Sanat tulevan englannin kielestä, mutta usein niitä käytetään sellaisenaan myös suomen kielessä. Downlink tarkoittaa linkkiä lähetystornista päätelaitteeseen ja uplink tarkoittaa linkkiä päätelaitteesta lähetystorniin. Käyttämällä eri linkkejä voidaan langaton yhteys optimoida kumpaankin suuntaan erikseen. Tämä myös helpottaa päätelaitteiden akunkestoja.

Downlink toteutetaan käyttäen OFDMA-tekniikkaa CDMA-tekniikan ja TDMA-tekniikan sijaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että OFDMA-tekniikalla voidaan hyödyntää MIMO-tekniikkaa, joka mahdollistaa usean samanaikaisen yhteyden yksittäiseen matkapuhelinverkon soluun. Näin yhteyden vakaus paranee ja viive pienenee. Myös tiedonsiirron nopeus paranee. (Neal Gompa 2015.)

Uplink toteutetaan käyttäen DFTS-OFDMA-tekniikkaa, jolla muodostetaan SC-FDMA signaali. SC-FDMA on parempi kuin OFDMA, koska sillä on parempi teho huipusta keskiarvoon (peak-to-average power ratio). Käytännössä tämä tarkoittaa parempaa akunkestoa käyttäjälle. LTE käyttää SC-FDMA 1x2-tekniikkaa, joka tarkoittaa sitä, että jokaista päätelaitteen lähettävää antennia kohden on lähetystornissa kaksi antennia vastaanottamassa signaalia (Neal Gomba 2015.)

LTE-tekniikassa itsessään käytetään kanavointiin joko FDD- tai TDD-tekniikkaa. Suomessa suurimmat operaattorit käyttävät vain FDD-tekniikkaa. Tällä tekniikalla downlink-kanavat ja uplink-kanavat erotetaan eri taajuuksille siten, että jokaisella downlink-kaistalla on pari uplink-kaistalta. Puhutaan yhdistetyistä taajuuskaistoista. (Neal Gomba 2015.)

Vertailun ja havainnollistamisen vuoksi seuraavaan kuvioon 1 on esitelty eri verkkoteknologioiden maksiminopeuksia ladattaessa. Kuviossa tummemmalla pylväällä havainnollistetaan teoreettista maksimia ja vaaleammalla pylväällä keskimääräistä toteutunutta latausnopeutta.



Kuvio 1: Eri verkkoteknologioiden nopeuksien vertailua (4G 2015).

Kuviosta voidaan huomata latausnopeuden suuri muutos siirryttäessä 3G-verkosta 4G-verkkoon ainakin teoriatasolla. 3G-verkossa teoreettinen maksiminopeus on 7,2 Mbps tai 42 Mbps riippuen 3G-verkosta. Vastaava luku 4G-verkossa on 150 Mbps. Vaaleammalla pylväällä kuvataan tyypillistä toteutunutta latausnopeutta. Kuvio on hieman harhaanjohtava tyypillisten latausnopeuksien suhteen, sillä toteutuneisiin latausnopeuksiin vaikuttaa mm. verkon kuormituksen taso, signaalien voimakkuudet ja laatu sekä muut häiriötekijät. Siltikin vaikka LTE ei kuvion mukaan saavuttaisi kuin 14 Mbps nopeuden olisi se siltikin noin viisi kertaa nopeampi 3G-tekniikkaan verrattuna.

2.2 LTE Advanced

LTE Advanced tai LTE+ on seuraava askel langattomien mobiiliverkkojen kehityksessä. Suomessa LTE Advanced ei suurimpien teleoperaattorien mukaan ole vielä kovin yleinen ja peittoalueet ovat pieniä. Peittoalueita löytyy suurimpien kaupunkien keskustojen alueilta esim. Helsingissä ja Tampereella.

LTE Advanced on uusi verkkoteknologia, jonka odotetaan helpottavan mobiilidatan suuressa kysynnässä. LTE Advanced tarjoaa myös suuremmat datanopeudet. Käyttäjille tämä tarkoittaa käytännössä parempaa peittoaluetta, parempaa vakautta ja nopeampaa suorituskykyä. (Simon Hill 2013.)

Latausnopeus on teoriassa 1 Gbps, mutta todelliset nopeudet asettuvat välille 100 – 300 Mbps. Lähetysnopeus asettuu välille 10 – 70 Mbps. Todelliset toteutuneet nopeudet eivät koskaan tule yltämään teoreettisen maksiminopeuden tasolle, mutta voidaan odottaa LTE Advancedin olevan vähintään viisi kertaa nopeampi kuin nykyiset LTE-verkot. (Simon Hill 2013.)

3 QUALIPOC ANDROID

3.1 Valmistaja – SwissQual

SwissQual on televiestintäyrittäjä, joka erikoistuu langattomien verkkojen laadun vertaisanalysointiin ja verkkojen optimointiin. Yritys perustettiin vuonna 2000 ja yrityksen tilat sijaitsevat Sveitsissä. Yrityksellä on noin 100 työntekijää. Vuosien 2011 – 2012 aikana SwissQual julkaisi ensimmäisen älypuhelinpohjaisen mittalaitteen, joka perustuu Android-käyttöjärjestelmään. (SwissQual AG 2015.)

Kaikki tämän opinnäytetyön mittaukset suoritettiin käyttäen SwissQualin toimittamaa QualiPoc Android-mittalaitetta.

3.2 Yleistä Qualipoc Androidista

QualiPoC Android on monitoiminen älypuhelinpohjainen työkalu puhe- ja datapalveluiden laadun ongelmanratkintaan ja radiotaajuuksien optimoimiseen. QualiPoc Android on johtava kämmenlaite, joka on asettanut uuden alan standardin älypuhelinpohjaisessa matkapuhelinverkon testauksessa. QualiPoc perustuu uusimpiin Android-käyttöjärjestelmällä varustettuihin älypuheliiniin. Se tukee kaikkia matkapuhelinverkkotekniikoita maailmanlaajuisesti ja kattaa monia protokollakerroksia. QualiPoc tarjoaa laajat testausmenetelmät äänelle, datalle, videoiden virtauttamiselle ja pikaviestintään. QualiPoc Android on kustannustehokas ja tehokas kämmenlaite jokaiselle RF-insinöörille. (SwissQual AG 2015.) Mittalaitteena toimii siis ihan tavallinen älypuhelin. Puhelimen ominaisuuksissa tai toiminnoissa ei ole mitään erilaista verrattuna muihin samantyyppisiin puheliiniin. Tavallisen älypuhelimien lisäksi laitteeseen on vain asennettu mittausohjelma.

Projektia varten saatiin SwissQualin toimittama QualiPoc Android älypuhelin. Älypuhelin oli Samsung Galaxy S5 ja käyttöjärjestelmänä Android. QualiPoc-mittausohjelma oli valmiiksi asennettuna puhelimeen. Älypuhelin on kuvassa 1.



Kuva 1. Samsung Galaxy S5 älypuhelin (SwissQual AG 2015).

Puhelin saatiin helposti otettua käyttöön ja mittausohjelmaan voitiin tutustua. Aluksi tutustuttiin ominaisuuksiin ilman operaattorin SIM-korttia. Varsinaiset mittaukset suoritettiin Saunalahti/Elisan, Soneran ja DNA:n SIM-korteilla. Mittauksissa mittaohjelma pakotettiin toimimaan vain LTE-verkossa, jotta saatiin rajattua kaikki muut yhteydet pois paitsi 4G LTE.

Puhelimen ominaisuudet riittivät mittauskäyttöön hyvin. Suurin kysymysmerkki oli akunkesto, mutta pian selvisi että akku kestää hyvin usean tunnin käytön. Puhelimen akkua ei saatu normaaleja mittauksia suoritettaessa tyhjenemään kokonaan, joten emme voi varmuudella sanoa kuinka kauan akku kestäisi mittauskäytössä ennen kuin se pitäisi ladata.

Taulukkoon 1 on koottu puhelimen tekniset ominaisuudet.

Taulukko1. Samsung Galaxy S5 tekniset ominaisuudet (GSM Arena 2015).

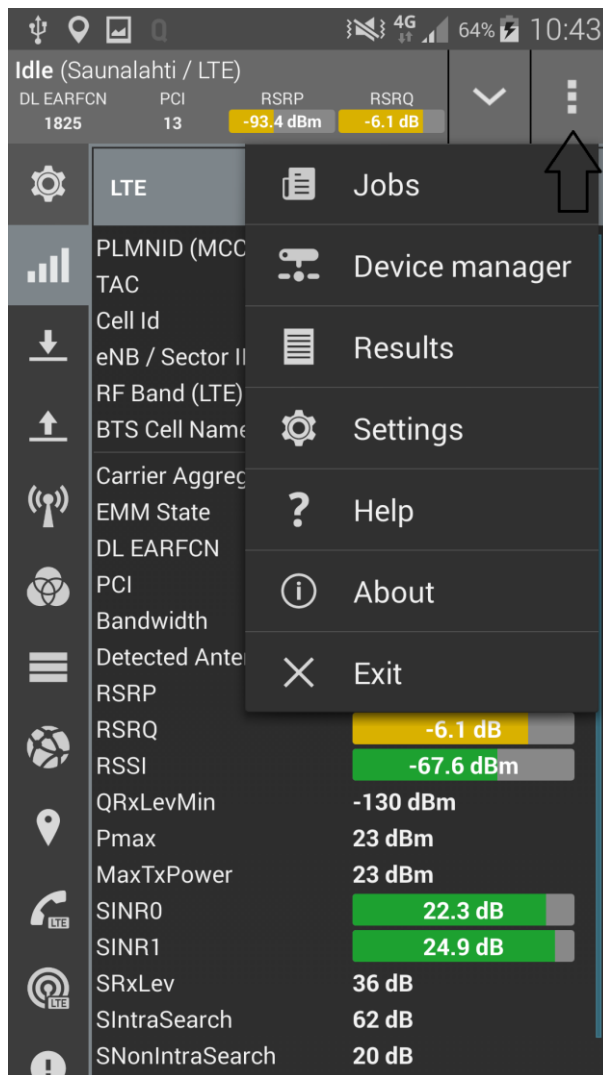
Suoritin	
Suorittimen nopeus	2,5 GHz
Suorittimen tyyppi	Quad-Core
Näyttö	
Koko (päänäyttö)	5,1" (129,4 mm)
Tarkkuus (päänäyttö)	1920 x 1080 (FHD)
Tekniikka (päänäyttö)	Super AMOLED
Värisyvyys (päänäyttö)	16 M
S Pen -tuki	Ei
Kamera	
Videotallennuksen tarkkuus	UHD 4K (3840 x 2160) @30 fps
Pääkameran tarkkuus	CMOS, 16 MP
Etukameran tarkkuus	CMOS, 2 MP
Pääkameran salama	Kyllä
Pääkameran automaattitarkennus	Kyllä
Muisti	
RAM-määrä (Gt)	2 GB
Sisäinen muisti (Gt)	16 / 32 GB
Ulkoisen muistin tuki	MicroSD (jopa 128 Gt)
Verkko/verkkopalvelu	
Multi-SIM	Yksi SIM-kortti
SIM-koko	Micro-SIM (3FF)
2G GSM	B8 (GSM 850 MHz), B10 (E-GSM 900 MHz), B13 (DCS 1800 MHz), B14 (PCS 1900 MHz)
3G UMTS	B1 (IMT 2100 MHz), B2 (PCS 1900 MHz), B5 (US 850 MHz Cellular), B8 (GSM 900 MHz)
4G LTE	B1 (2100), B2 (1900), B3 (1800), B5 (850), B7 (2600), B8 (900), B20 (800)
Liitettävyys	
ANT+	Kyllä
USB-versio	USB 3.0
Paikannustekniikka	GPS, Glonass, Beidou
Kuulokeliitäntä	3,5 mm:n stereo
MHL	MHL 2
Wi-Fi	802.11a/b/g/n/ac 2,4 G + 5 GHz, VHT80 MIMO
Wi-Fi Direct	Kyllä
DLNA-tuki	Ei
Bluetooth-versio	Bluetooth v4.0
NFC	Kyllä
Bluetooth-profiilit	DI, MAP, PBAP, HOGP, PAN, A2DP, AVRCP, HFP, HSP, OPP, SAP, HID
PC-synkronointi	KIES

Käyttöjärjestelmä	
Käyttöjärjestelmä	Android
Anturit	
Anturit	Eleanturi, Sormenjälkianturi, Sykemittarianturi, Hall-anturi, Kiihtyvyyssanturi,
	Geomagneettinen anturi, Gyrometri, Valoanturi, Barometri, Etäisyysanturi
Fyysiset ominaisuudet	
Mitat (K x L x S)	142 x 72,5 x 8,1 mm
Paino	145 g
Akku	
Akun vakiokapasiteetti	2800 mAh
Irrotettavissa	Kyllä
Internet-käyttöaika (3G)	Jopa 11 tuntia
Internet-käyttöaika (LTE)	Jopa 10 tuntia
Internet-käyttöaika (Wi-Fi)	Jopa 12 tuntia
Videon toisto-aika	Jopa 13 tuntia
Äänen toisto-aika	Jopa 67 tuntia
Puhe-aika (W-CDMA)	Jopa 21 tuntia
Ääni ja kuva	
Videon toistomuoto	FLV, M4V, MKV, MP4, WEBM, WMV, 3G2, 3GP, ASF, AVI
Videotoiston tarkkuus	UHD 4K (3840 x 2160) @30 fps
Äänen toistomuoto	3GA, AWB, FLAC, MID, MXMF, OGA, OTA, RTX, RTTTL, XMF, AAC, AMR, IMY, M4A, MIDI, MP3, OGG, WAV, WMA
Palvelut ja sovellukset	
Gear Manager	Kyllä
S Voice -toiminto	Kyllä

3.3 Käyttöohje perusmittauksien tekemiseen

Mittalaitteen käyttöönotto on helppoa. Puhelimen ollessa päällä löytyy aloitusnäytöltä QualiPoc Android-ohjelma. Ohjelma käynnistyy näyttämällä latausruutua.

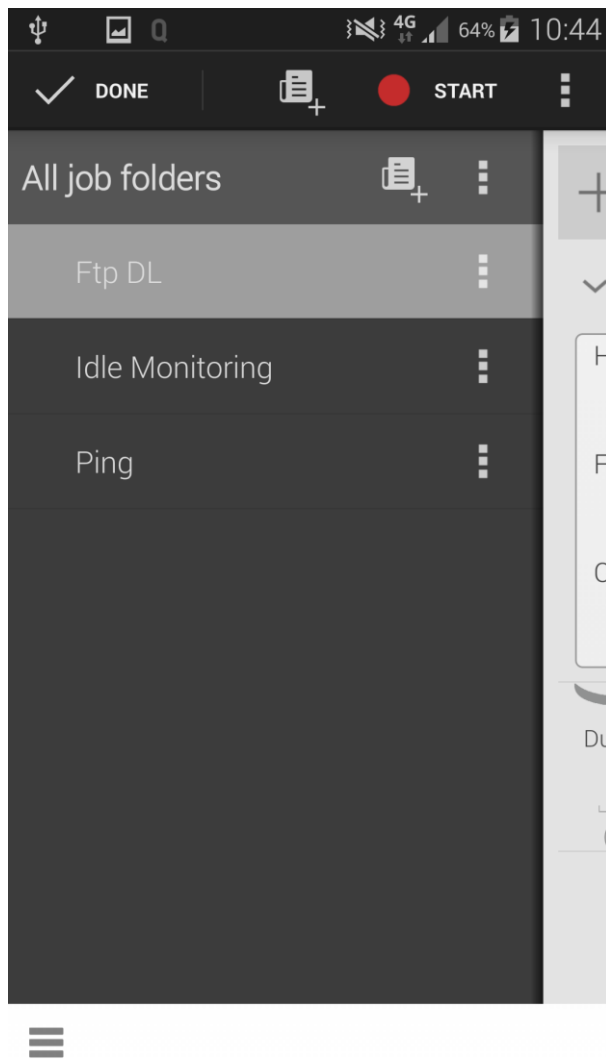
Latausruudun häivytyä asettuu mittausohjelma tilaan, josta voidaan aloittaa mittauksien tekeminen. Kuvassa 2 on ruudunkaappaus mittausohjelman valikosta. Valikkoon päästään painamalla kuvaan piirretyyn nuolen osoittamaa kohtaa. Tästä valikosta löydetään mittatehtävät, laitehallinta, mittauksien tulokset, asetukset, apua ohjelmiston käyttöön ja ohjelmiston tiedot.



Kuva 2. Mittausohjelman valikko.

Valikosta valitaan mittatehtävät ja uusi valikko aukeaa. Alussa tehtävälista on mahdollisesti tyhjä ennen kuin sinne luodaan tehtävä tai useita tehtäviä. Tehtävien lisääminen on helppoa. Mittauksissa käytettiin kahta eri tehtävää: seuranta tyhjäkäynnillä (idle monitoring) ja lataamista FTP-palvelimelta (FTP Download / FTP DL).

Kuvassa 3 on mittauksissa käytettyjä tehtäviä. LTE-verkon kuuluvuuden mittaamisessa käytettiin tehtävää: Idle Monitoring. Latausnopeutta mitattaessa käytettiin tehtävää: Ftp DL.



Kuva 3. Tehtävälista.

Kuvan 3 ruudulta voidaan valita joku aikaisemmin luoduista tehtävistä tai luoda kokonaan uusi tehtävä. Mittaustehtävä valitaan ja tehtävä käynnistetään yläreunassa olevasta START-napista.

Kuvassa 4 on latausnopeutta mittaavan tehtävän parametrit. Tehtäväksi asetettiin tiedoston lataaminen tietystä palvelimesta, jossa oli juuri tätä varten tarkoitettuja tiedostoja. Käytettiin Funetin palvelinta, jossa oli 100 megatavun kokoinen tiedosto. Muina vaihtoehtoina oli 10 megatavun ja 1 gigatavun kokoinen tiedosto. Päätettiin, että 4G-nopeuksilla 10 megatavun kokoinen tiedosto siirtyisi liian nopeasti ja eroja operaattorien välille ei todennäköisesti olisi juuri syntynyt. 1 gigatavun tiedosto olisi taas ollut liian suuri. Valittiin näiden välimaastosta 100 megatavun kokoinen tiedosto.



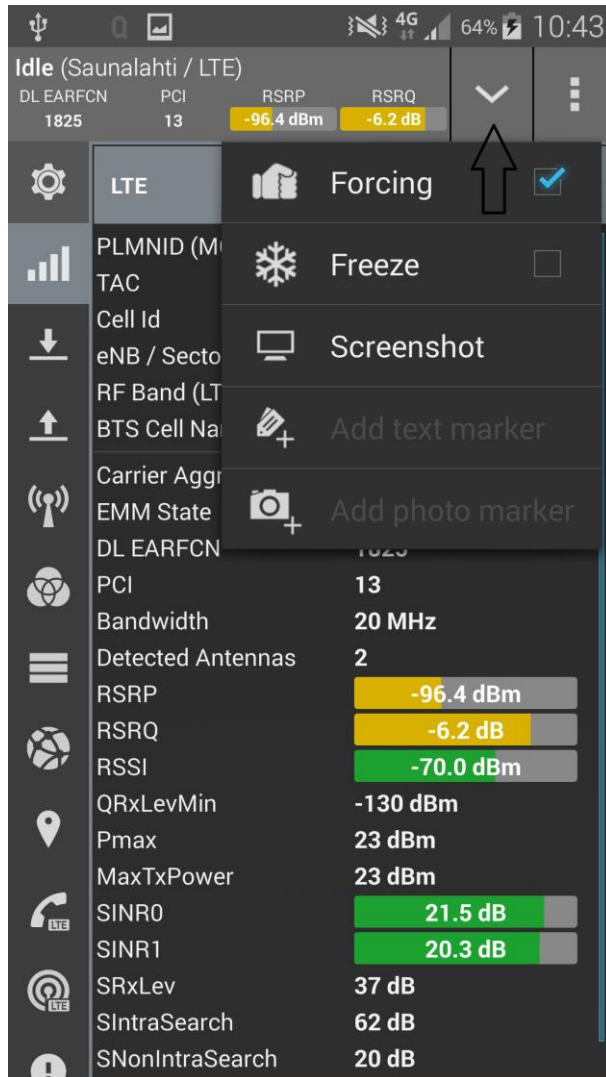
Kuva 4. Latausnopeuden mittauksessa käytetyn tehtävän parametrit.

Host-kenttään kirjoitettiin palvelimen osoite `ftp://ftp.funet.fi`. Tämän jälkeen alapuolelle kirjoitettiin `/dev/100Mnull`, joka kertoi ohjelmalle, että tiedosto '100Mnull' sijaitsee alikansiossa `dev`. Aluksi näiden kahden kentän täyttäminen oli haasteellista kun ei ollut tiedossa missä muodossa ohjelma haluaa osoitteen kirjoitettavan.

Tehtävään piti lisätä myös käyttäjänimi ja salasana. Käytettiin sanaa 'testi' molemmissa. Jostain syystä tehtävä ei suostunut käynnistymään ilman tämän kentän täyttämistä. Myöskään sillä ei tuntunut olevan merkitystä mitä näihin kahteen kenttään kirjoittaa.

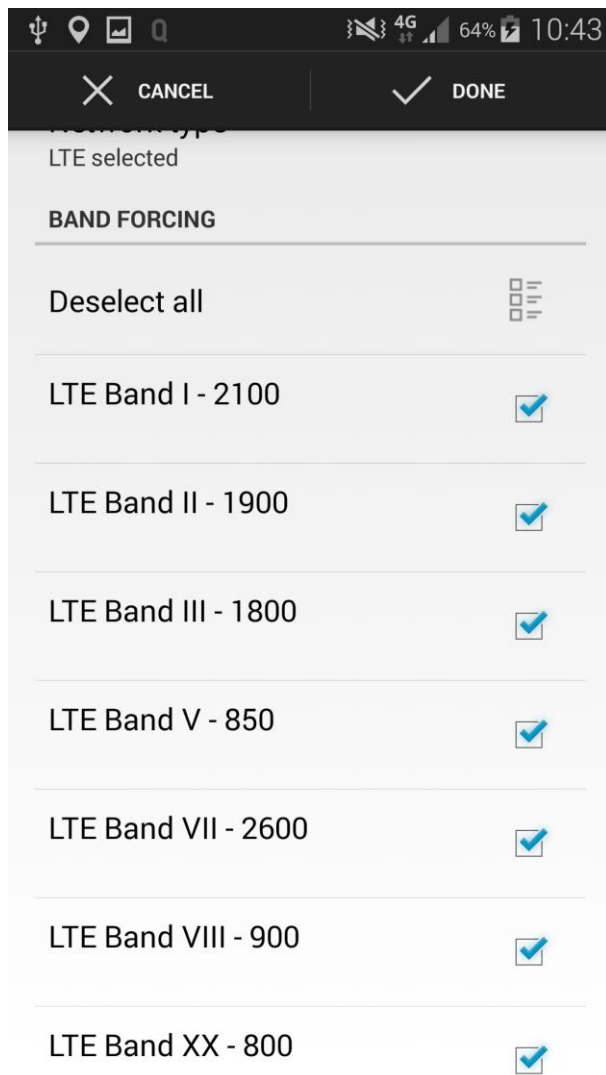
FTP-lataustehtävän viimeisenä parametrina oli 'cycles', joka tarkoittaa kuinka monta kertaa tiedosto ladataan palvelimelta. Haluttiin ladata tiedosto vain yhden kerran ja siksi asetettiin sille arvoksi 1.

Näillä parametreilla suoritettiin tehtävä, jossa tiedosto ladataan FTP-palvelimelta. Ennen tehtävän aloitusta asetettiin vielä käytettävä verkko. Kuvassa 5 nuoli osoittaa painiketta, jolla voidaan valita mm. käytettävän verkon pakotus. Ruudussa näkyy pieni merkki nuolen oikealla puolella ja se kuvastaa jonkin verkon pakotuksen olevan päällä.



Kuva 5. Käytettävän verkon pakotus.

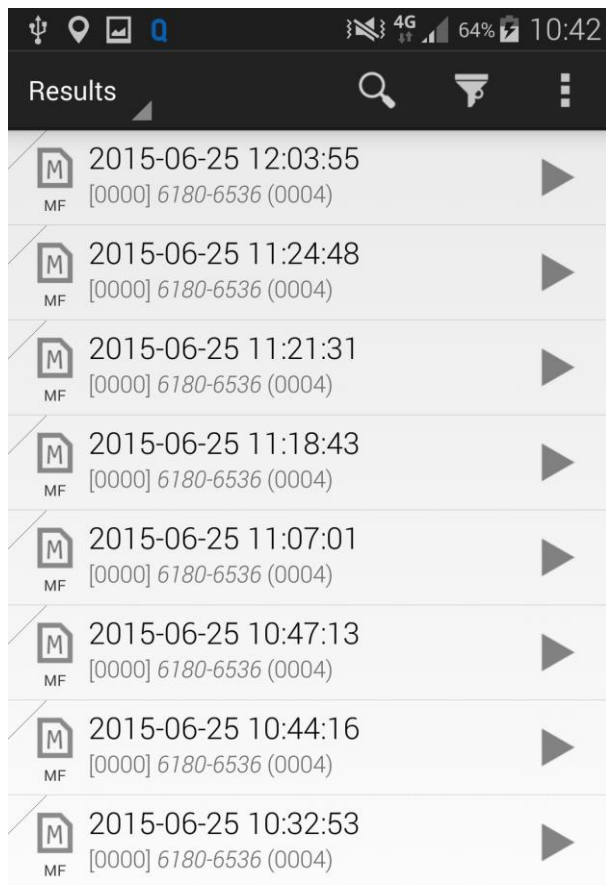
Kun kuvassa 5 nähtyä sanaa 'Forcing' painetaan aukeaa uusi ikkuna kuten kuvassa 6 nähdään. Tässä uudessa valikossa voidaan määrittellä mitä verkkoa mittalaite käyttää esim. 2G, 3G tai 4G. Kuvassa 6 nähdään, että tekniikan ja verkon pakotusta voidaan vielä hienosäätää pakottamalla mittalaite käyttämään jotain tiettyä taajuutta. Mittauksissa ei kiinnitetty huomiota, millä taajuuskaistalla milloinkin oltiin vaan valittiin kaistan pakotuksista kaikki 4G-kaistat. Näin mittalaite oli pakotettu käyttämään LTE-verkkoa, mutta taajuuskaista saattoi vaihdella.



Kuva 6. Käyttöön pakotetut LTE-verkot.

Näiden parametrien asettamisen jälkeen valittiin kuvan 6 yläreunassa näkyvä nappi 'Done'. Tämän jälkeen tehtävä voitiin suorittaa valituilla parametreilla painamalla yläreunassa olevaa 'Start'-nappia. Tehtävän suoritusta voitiin seurata mittalaitteen ruudulta reaaliajassa.

Jos määritelty tehtävä oli asetettu päättymään itsestään tiettyjen ehtojen täytyttyä mittalaite automaattisesti tallentaa mittaustulokset omaan sisäiseen muistiinsa ja jää tyhjäkäyntitilaan. Mikäli suoritettu tehtävä ei sisältänyt lopetuksen parametreja itsessään se saatiin lopetettua haluamalla ajankohdalla painamalla ruudun yläreunassa sijaitsevaa 'Stop'-nappia. Tässäkin tapauksessa mittalaite automaattisesti tallentaa mittaustuloksen omaan sisäiseen muistiinsa. Kuvassa 7 voidaan nähdä laitteeseen tallennetut tiedostot mittauksista.



Kuva 7. Mittalaitteeseen tallennetut tiedostot mittauksista.

Kuvasta 7 nähdään, että tiedostot tallentuivat päivämäärän ja kellonajan mukaan. Kun tiedoston perässä olevaa nuolta painetaan, voidaan tallennettua mittausdataa tutkia mittalaitteen ruudulta. Tämä oli hyvä ominaisuus sillä mittauksen jälkeen voitiin heti tarkistaa oliko mittaus onnistunut vai ilmenikö virheitä. Näin säästyy aikaa kun välillä ei ole pakko käydä tietokoneen kautta katsomassa mittauksen onnistuneisuutta.

Kun mittausdata saadaan tallennettua mittalaitteeseen, se voidaan siirtää myöhemmin tietokoneelle ja tarkastella saatua dataa käyttäen Diversity Optimizer – ohjelmaa. Tällä ohjelmalla voidaan saatu data viedä Export-toiminnolla Excel-taulukkoon. Näin dataa on helpompi käsitellä ja voidaan luoda erilaisia kuvaajia, jotka näyttävät selkeämmin tuloksia saadusta mittausdatasta.

Tällä ohjeella mittausohjelman kanssa päästään alkuun. Ohjelma sisältää myös lisäasetuksia ja muita ominaisuuksia, joita ei tässä ohjeessa ole käsitelty. Käyttötarpeen mukaan voidaan määritellä käytetäänkö mittausohjelmassa yksinkertaisia vai monimutkaisempia mittaustehtäviä.

Lisätietoa ja apua voidaan etsiä Internetin kautta, mittausohjelmiston Help-osiosta tai suoraan ohjelmiston valmistajalta. Laitteen mukana paketissa tuli myös USB-muistitikku, jolla oli opetusvideoita sekä manuaaleja. Tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä ohjelmistoon ei Internetin kautta löytynyt paljoakaan apua. Tähän luultavasti on syynä ohjelmiston maksullisuus ja lisenssivaatimukset sekä suhteellisen pieni käyttäjämäärä.

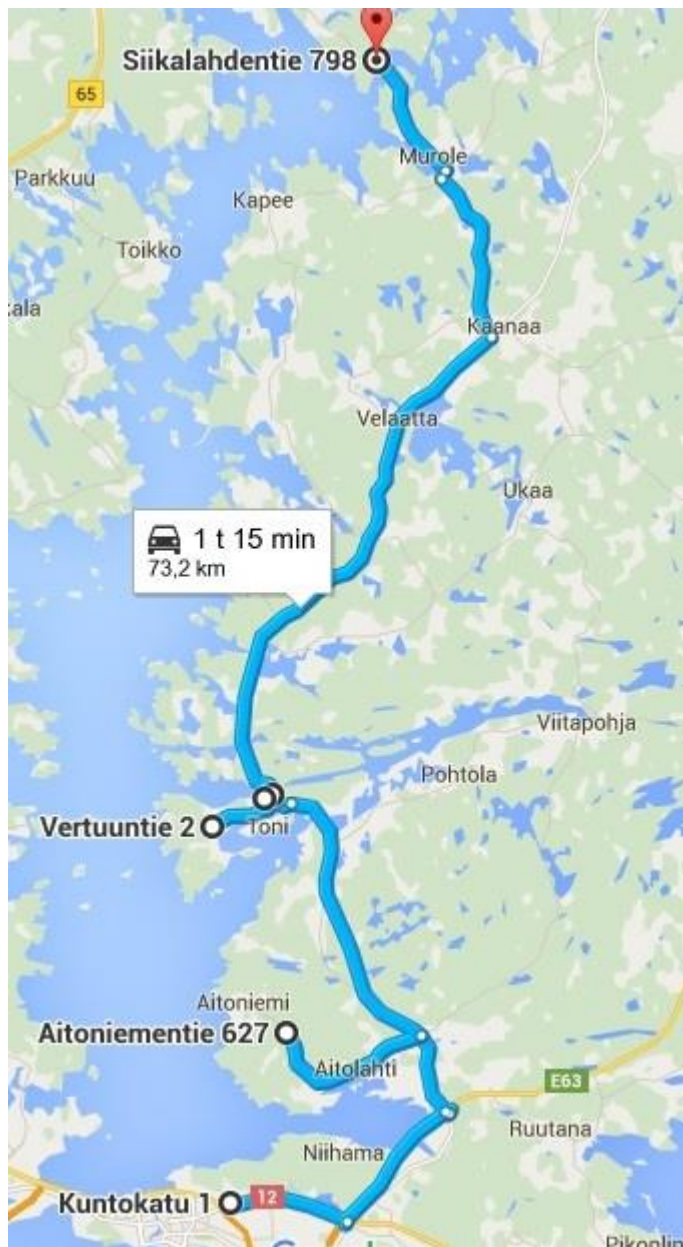
4 4G-VERKKOJEN MITTAUKSET

Käytännön mittaukset suoritettiin useamman päivän aikana. Ensiksi suoritettiin verkon kuuluvuusmittaukset ajamalla autolla ennalta määritelty reitti Tampereen ammattikorkeakoululta Muroleen kanavalle. Reitin varrella käytiin myös Sorilassa ja Kämmenniemessä sivukaduilla. Erityisesti Kämmenniemen alueelta saatu mittausdata kiinnosti tämän opinäytetyön tilaajaa, Tampereen ammattikorkeakoulun koulutuspäällikkö Ari Rantalaa. Saatua mittausdataa oli tarkoitus käyttää myöhemmin muissa koulun projekteissa. Tämän johdosta Kämmenniemen alue käsitellään omana lukunaan ja muita reitin varrella olleita alueita tarkemmin.

Mittauksien toisessa osuudessa käsitellään latausnopeuksia. Pääpaino oli verkon kuuluvuuden mittaamisessa, joten latausnopeuksia ei käsitellä niin tarkasti tai monipuolisesti useasta eri paikasta.

Latausnopeusmittauksissa esiintyi myös ongelmia, jotka rajoittivat saadun mittausdatan määrää. Ongelmien syy ei selvinnyt ja vaihtoehtoja oli useita. Yksi vaihtoehto oli se, että mittalaite olisi vaatinut käynnistymisen jälkeen enemmän aikaa kyseisen operaattorin 4G-verkon löytämiseen. Laitteelle annettiin muutama minuutti aikaa, mutta aina verkkoa ei löytynyt. Toinen mahdollinen ongelman syy oli se, että kyseisellä paikalla ei ole kuuluvuutta 4G-verkkoon. Kummassakaan ongelmatapauksessa ei voitu olla varmoja siitä mistä ongelma johtuu. Näissä tilanteissa todettiin, että latausnopeusmittausta ei voida suorittaa ja merkittiin tiedot ylös paikasta, jossa mittaus epäonnistui.

Kuvasta 8 nähdään kuuluvuusmittauksissa ajettu reitti. Reitin alkupiste sijaitsee kuvan alareunassa ja on merkitty karttaan osoitteena Kuntokatu 1. Matkaa reitillä kertyi noin 73 km ja aikaa yhteen ajamiseen kului tunti ja 15 minuuttia. Reitti ajettiin kolmeen kertaan, jotta saatiin mittausdataa jokaiselta kolmelta operaattorilta.



Kuva 8. Kuuluvuusmittauksissa ajettu reitti.

Kuvassa 8 nähdään myös kuinka Aitolahden ja Kämenniemen sivukaduilla ajettiin. Aitolahdessa ajettiin Aitoniementie 627:ään asti ja palattiin takaisin samaa reittiä. Kämenniemessä ajettiin Vertuuntie 2:een asti ja palattiin takaisin samaa reittiä. Tästä matka jatkui pohjoisen suuntaan aina Muroleen kanavalle asti.

Mittauksien tuloksia esitetään kaavioina. Kaavioissa esiintyy seuraavat asiat:

- RSRP – signaalin voimakkuus
- RSSI – signaalin voimakkuus ja kohina sekä häiriöt
- RSRQ – signaalin laatu
- SINR – signaalin ja häiriön sekä kohinan suhde

4.1 Kuuluvuusmittaukset koko reitiltä

Teknisten rajoitteiden vuoksi tulokset esitetään työn lopussa olevissa liitteissä. Operaattoreilta saadun datan määrä vaihteli operaattoreiden välillä. Excel-ohjelma tulkitsee erilaiset datamäärät hieman hankalalla tavalla kun näitä yritetään asettaa samaan kuvaajaan. Tästä johtuen ei ollut mahdollista esittää eri operaattorien kuvaajia yhdessä ja samassa kuvassa vaan kuvaajat joudutaan erittelemään omiksi kuvaajikseen.

Kuvioissa vaaka-akselilla esiintyvä kellonaika ei tuo itse kuvaajaan mitään lisätietoa. Kellonaika on mukana vain Excel-taulukoiden luomista tukemassa. Mitään muuta parempaa ominaisuutta vaaka-akselille ei keksitty.

Näissä koko reitin kattavissa kuvaajissa haittapuolena on se, että dataa on paljon. Näin suurelta alueelta otettu data on hankalaa esittää informatiivisesti pienessä Excel-kuvaajassa. Myöhemmässä kappaleessa on keskitytty Kämmenniemen alueeseen, jossa kuvaajat ovat informatiivisempia.

4.1.1 RSRP-kuvaajat

Liitteessä 1 on koottu operaattoreilta saadusta datasta muodostetut RSRP-kuvaajat. Kuvaaja kuvaa tukiasemalta vastaanotetun signaalin voimakkuutta. Liitteessä 1 ensimmäinen kuvio on DNA, toinen kuvio on Elisa/Saunalahti ja kolmas kuvio on Sonera.

Liitteen 1 kuvioissa pystyakselilla on desibeliasteikko. Asteikolla arvo, joka on lähempänä nollaa, on parempi arvo. Joten liitteen 1 kuvioista voidaan havaita, että DNA:n ja Elisa/Saunalahden kuuluvuudet olivat parempia kuin Soneralla. Silmämääräisesti katsottuna kuvaajien keskiarvo asettuu myös Soneralla alhaisemmaksi kuin muilla operaattoreilla.

4.1.2 RSSI-kuvaajat

Liitteessä 2 on koottu operaattoreilta saadusta datasta muodostetut RSSI-kuvaajat. Kuvaaja kuvaa tukiasemalta vastaanotetun signaalin voimakkuutta, jossa on mukana signaalin häiriöt ja kohina. Liitteessä 2 ensimmäinen kuvio on DNA, toinen kuvio on Elisa/Saunalahti ja kolmas kuvio on Sonera.

RSSI-kuvaajissa mukana oleva häiriö ja kohina hankaloittavat vertailua enemmän kuin RSRP-kuvaajissa. Vertailua voidaan kuitenkin tehdä kun pidetään mielessä, että muuttujia on 3: signaalin kuuluvuus, häiriöt ja kohina.

Signaalitasot ovat korkeampia kuin RSRP-kuvaajissa juuri siitä syystä, että signaalissa on mukana häiriöt ja kohina. Vaikka signaalitasot ovat korkeampia, ei signaali välttämättä ole parempi. RSSI-signaalista saadaan erilaista tietoa kuin RSRP-signaalista. Siksi nämä molemmat signaalit ovat tärkeitä ja ne tukevat toisiaan kun signaaleja tarkastellaan.

4.1.3 RSRQ-kuvaajat

RSRQ-arvot kuvastavat vastaanotetun hyötysignaalin laatua. Arvo perustuu RSRP- ja RSSI-signaaleihin. Liitteessä 3 on esitetty RSRQ-signaalit eri operaattoreilta. Laskentatavasta johtuen RSRQ-arvo on aina negatiivinen. Lähempänä nollaa oleva arvo on parempi ja signaalin laatu laskee kun RSRQ-arvo pienenee nollassa alaspäin. Liitteessä 3 ensimmäinen kuvaaja on DNA, toinen Elisa/Saunalahti ja kolmas on Sonera.

Liitteen 3 kuvaajista nähdään jo silmämääräisesti, että Soneralla arvo jää alhaisimmaksi keskiarvoltaan.

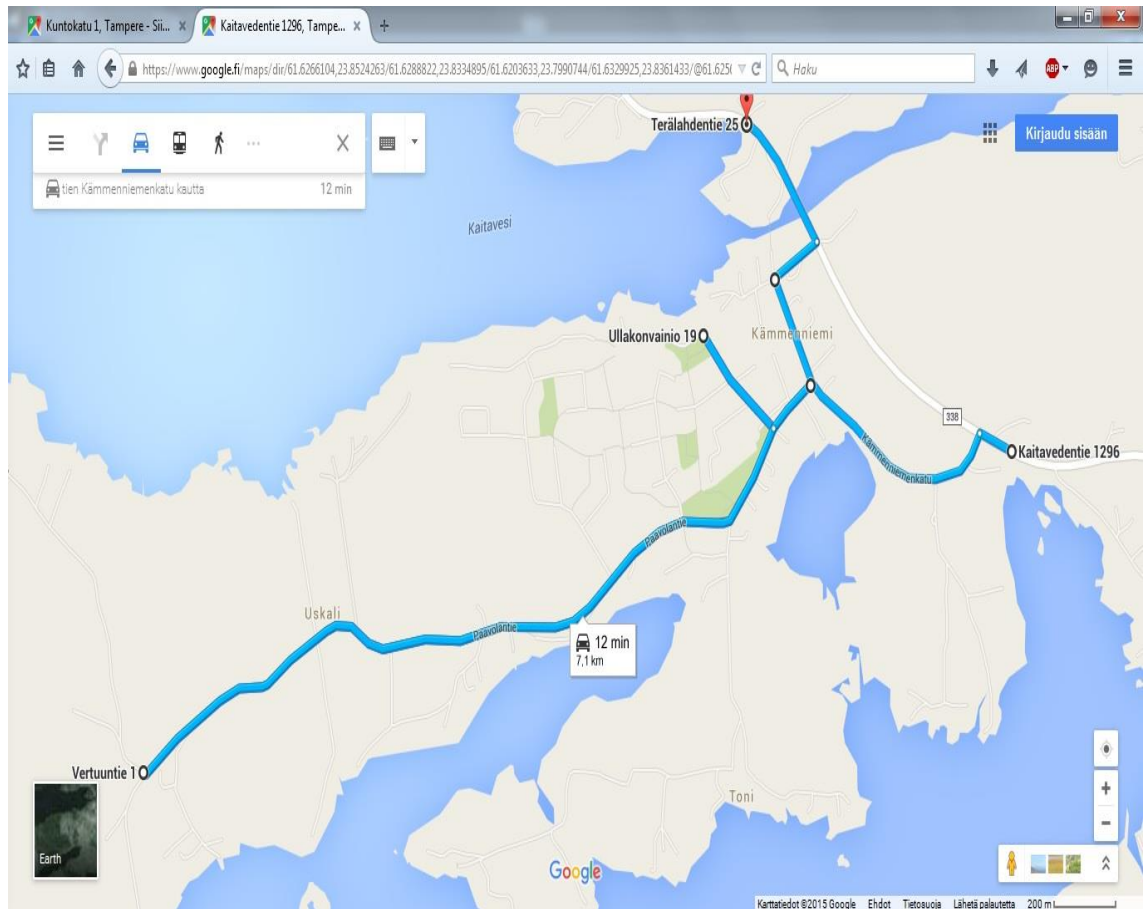
4.1.4 SINR-kuvaajat

Liitteessä 4 on koottu operaattoreilta saadusta datasta muodostetut SINR-kuvaajat. SINR-arvo kuvastaa signaalin suhdetta häiriöön ja kohinaan. Mitä suurempi arvo on sitä parempi signaali on. Signaalin suurin mahdollinen arvo on 30. Liitteessä 4 ensimmäinen kuvio on DNA, toinen kuvio on Elisa/Saunalahti ja kolmas kuvio on Sonera.

4.2 Kuuluvuusmittaukset Kämmenniemessä

Tässä kappaleessa keskitytään Kämmenniemen alueeseen tarkemmin. Alueelta on laadittu samanlaiset kuvaajat kuten koko reitiltäkin. Näissä Kämmenniemen kuvaajissa dataa on huomattavasti vähemmän ja tietoa voidaan nähdä kuvaajasta paremmin.

Kuvassa 9 on mittausreitti Kämmenniemen alueella. Mittauksen alkupää on kuvan oikeassa reunassa Kaitavedentiellä. Sieltä ajettiin Ullakonvainiolle, josta matka jatkui Vertuuntielle. Reitin lopetuspiste on Terälahdentiellä kuvan yläosassa.



Kuva 9. Kuuluvuusmittauksien ajoreitti Kämmenniemessä.

4.2.1 RSRP-kuvaajat

Liitteessä 5 on koottu operaattoreilta saadusta datasta muodostetut RSRP-kuvaajat Kämmenniemen alueelta. Kuvaaja kuvaa tukiasemalta vastaanotetun signaalin voimakkuutta. Liitteessä 5 ensimmäinen kuvio on DNA, toinen kuvio on Elisa/Saunalahti ja kolmas kuvio on Sonera.

4.2.2 RSSI-kuvaajat

Liitteessä 6 on koottu operaattoreilta saadusta datasta muodostetut RSSI-kuvaajat Kämenniemen alueelta. Kuvaaja kuvaa tukiasemalta vastaanotetun signaalin voimakkuutta, jossa on mukana signaalin häiriöt ja kohina. Liitteessä 6 ensimmäinen kuvio on DNA, toinen kuvio on Elisa/Saunalahti ja kolmas kuvio on Sonera.

4.2.3 RSRQ-kuvaajat

RSRQ-arvot kuvastavat vastaanotetun hyötysignaalin laatua. Arvo perustuu RSRP- ja RSSI-signaaleihin. Liitteessä 7 on esitetty RSRQ-signaalit eri operaattoreilta Kämenniemen alueelta. Laskentatavasta johtuen RSRQ-arvo on aina negatiivinen. Lähempänä nollaa oleva arvo on parempi ja signaalin laatu laskee kun RSRQ-arvo pienenee nolasta alaspäin. Liitteessä 7 ensimmäinen kuvaaja on DNA, toinen Elisa/Saunalahti ja kolmas on Sonera.

4.2.4 SINR-kuvaajat

Liitteessä 8 on koottu operaattoreilta saadusta datasta muodostetut SINR-kuvaajat Kämenniemen alueelta. SINR-arvo kuvastaa signaalin suhdetta häiriöön ja kohinaan. Mitä suurempi arvo on sitä parempi signaali on. Signaalin suurin mahdollinen arvo on 30. Liitteessä 4 ensimmäinen kuvio on DNA, toinen kuvio on Elisa/Saunalahti ja kolmas kuvio on Sonera.

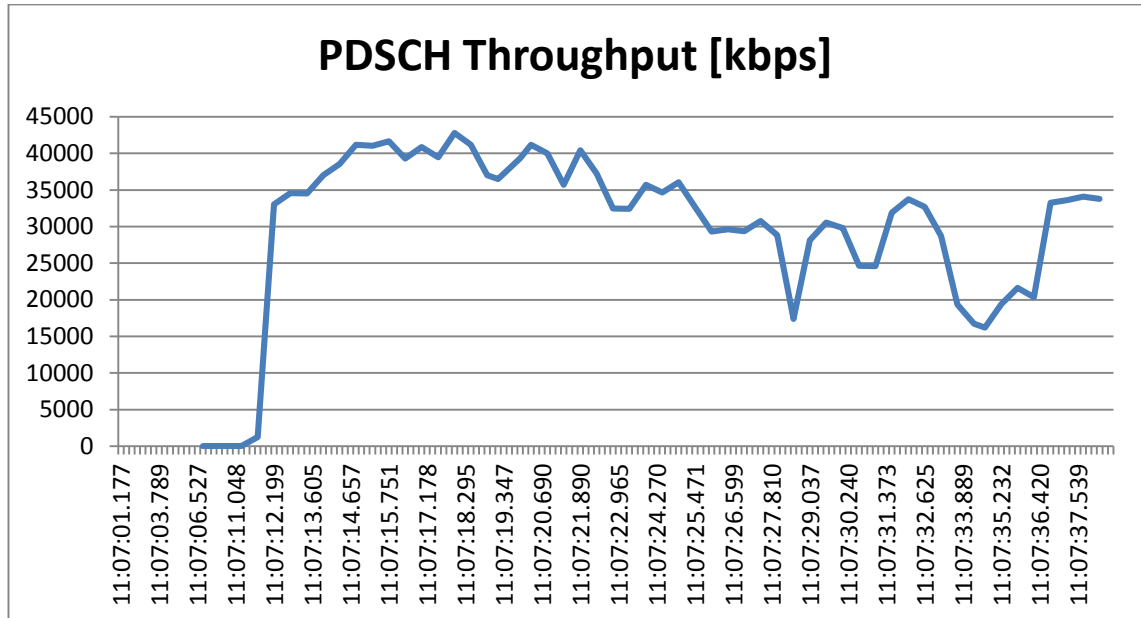
4.3 Latausnopeusmittaukset

Latausnopeusmittaukset eivät olleet mittauksien pääasia, joten siksi asiaa käsitellään tässä suppeasti. Eri operaattorien kuvaajat listataan eri kappaleiksi.

Mittaukset suoritettiin paikallaan. Ladattavan tiedoston koko oli 100 megatavua. Tiedosto ladattiin osoitteesta <ftp://ftp.funet.fi/dev/100Mnull> .

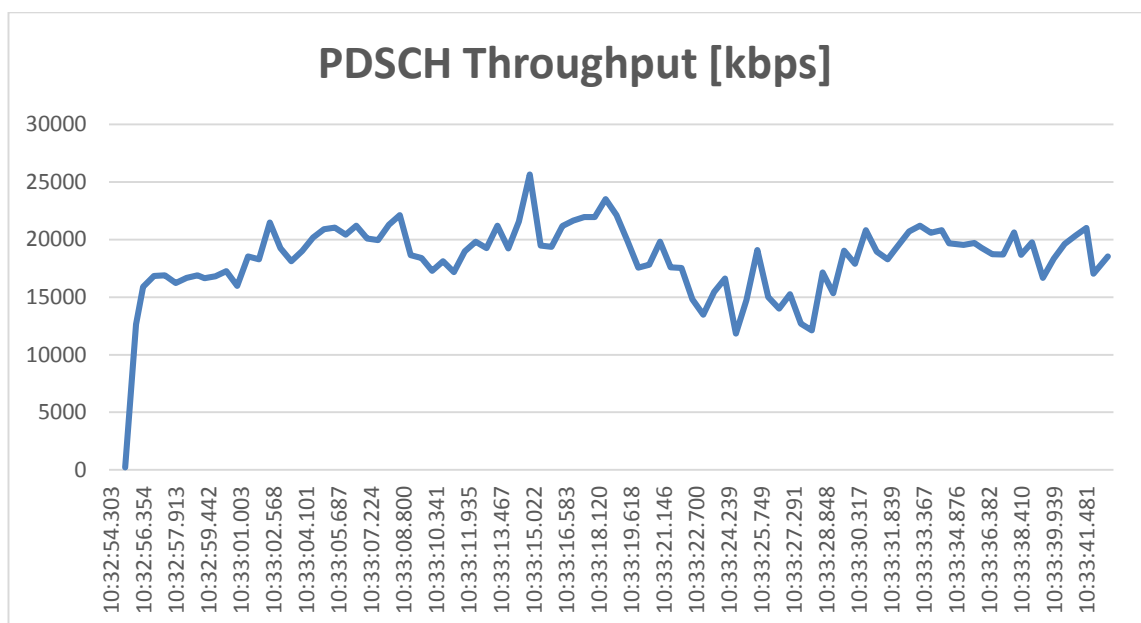
4.3.1 DNA

DNA:lla mittaustulosta ei saatu Muroleentien mittauspisteeltä. Kuviosta 2 nähdään DNA:n latausnopeus Kämenniemen Sale-kaupan edustalta. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.



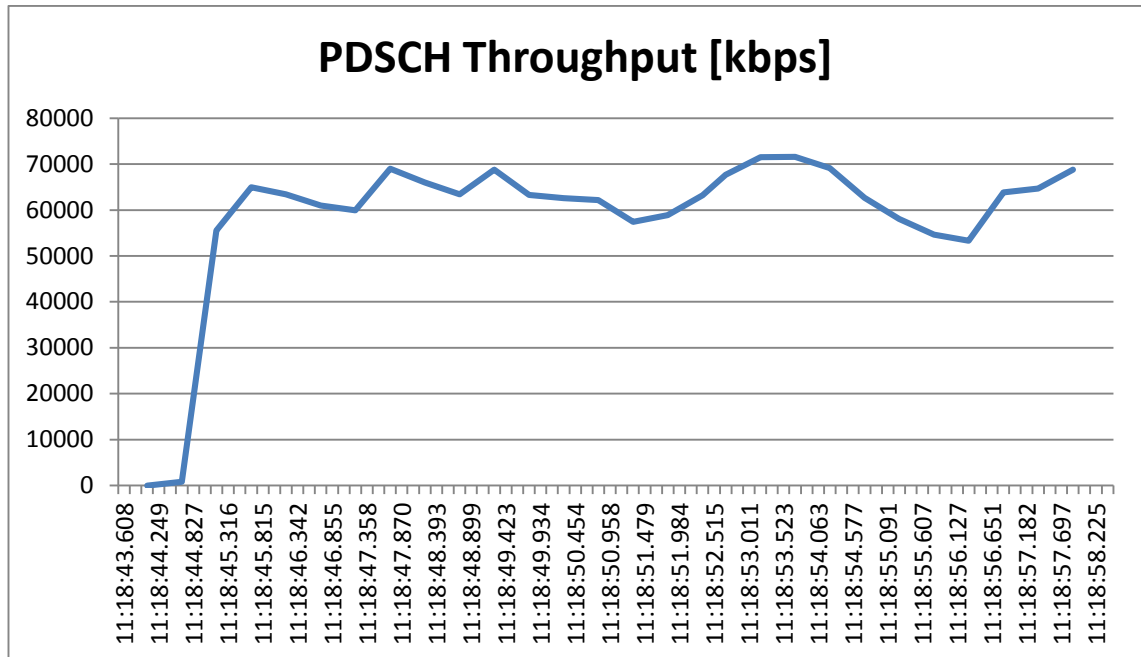
Kuvio 2. DNA:n latausnopeus Kämenniemessä.

Kuviosta 3 nähdään DNA:n latausnopeus Sorilan koululta. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.



Kuvio 3. DNA:n latausnopeus Sorilan koululta.

Kuviosta 4 nähdään DNA:n latausnopeus Terälähden Sale-kaupan edustalta. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.

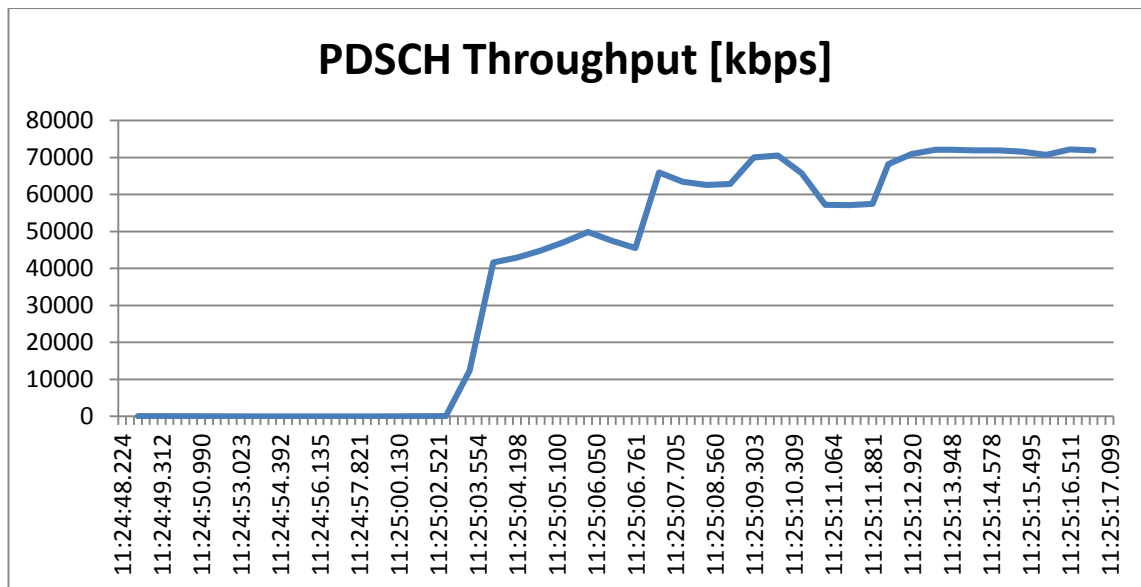


Kuvio 4. DNA:n latausnopeus Terälähdessä.

4.3.2 Elisa / Saunalahti

Elisan liittymällä latausnopeusmittausta ei saatu suoritettua Sorilan koululla eikä Kämenniemen Sale-kaupan edustalla. Myöskään Muroleentien mittauspisteeltä ei saatu tulosta. Syy tähän ei selvinnyt mittauksia tehdessä. Päätettiin jättää asia sikseen. Elisan ainoaksi tulokseksi jäi mittaustulos Terälähden Sale-kaupan edustalta.

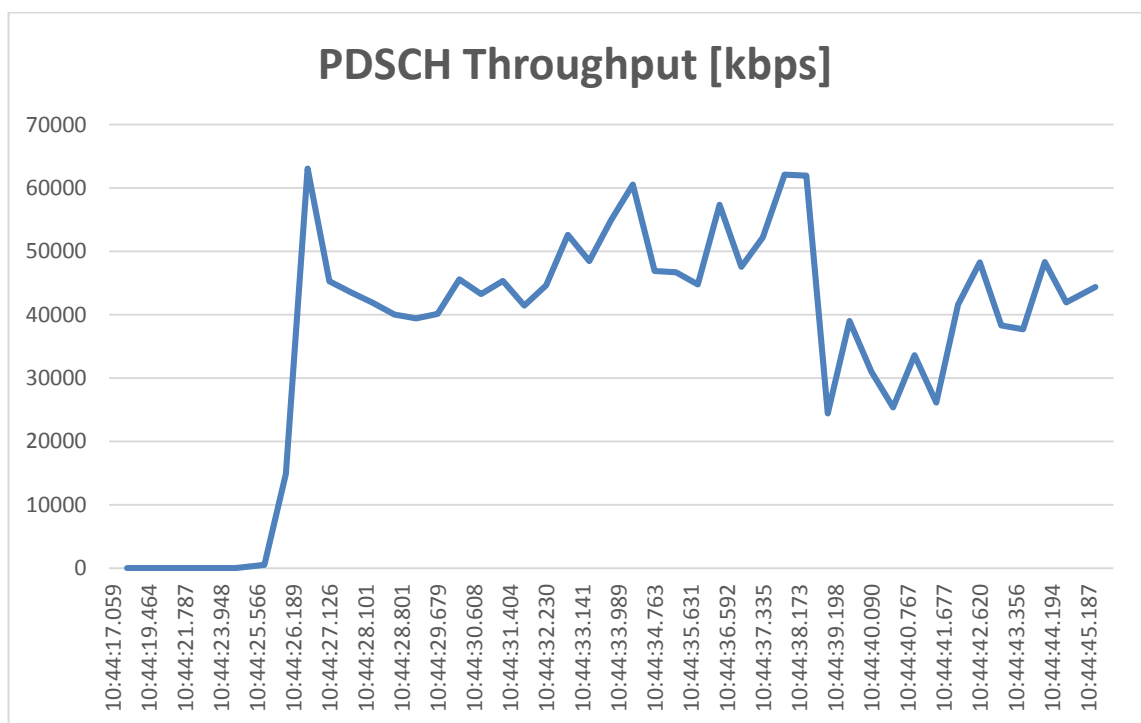
Kuviosta 5 nähdään Elisan latausnopeus Terälähden Sale-kaupan edustalta. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.



Kuvio 5. Elisan latausnopeus Terälahdessa.

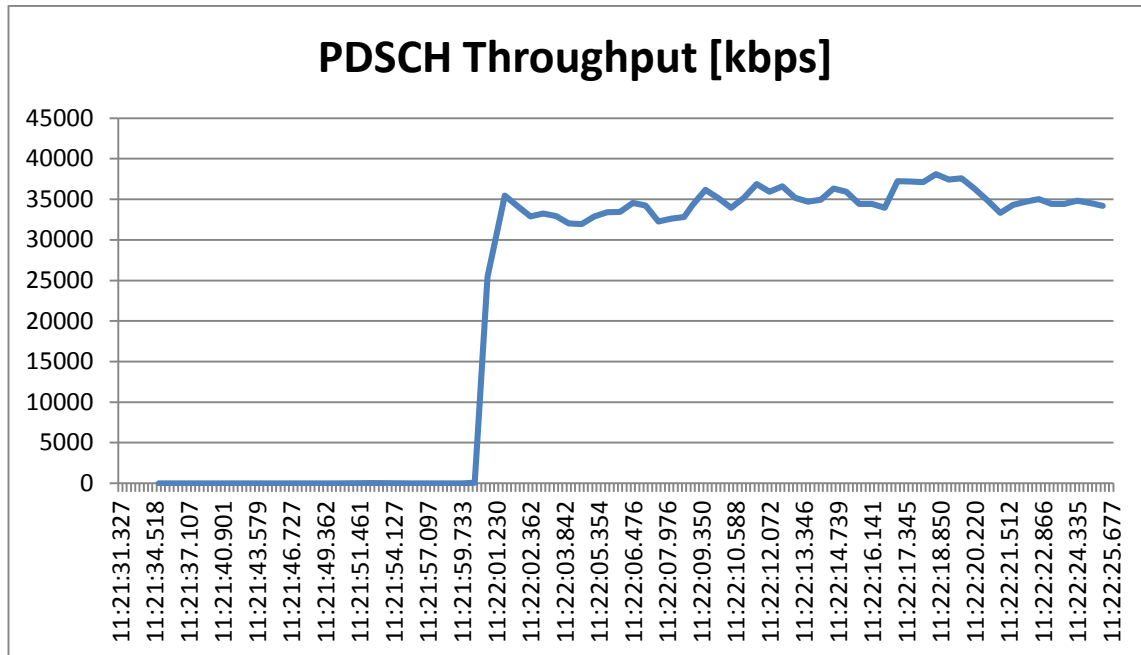
4.3.3 Sonera

Soneralla mittaustulosta ei saatu Kämmenniemen Sale-kaupan edustalta. Kuvioista 6 nähdään Soneran latausnopeus Sorilan koululta. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.



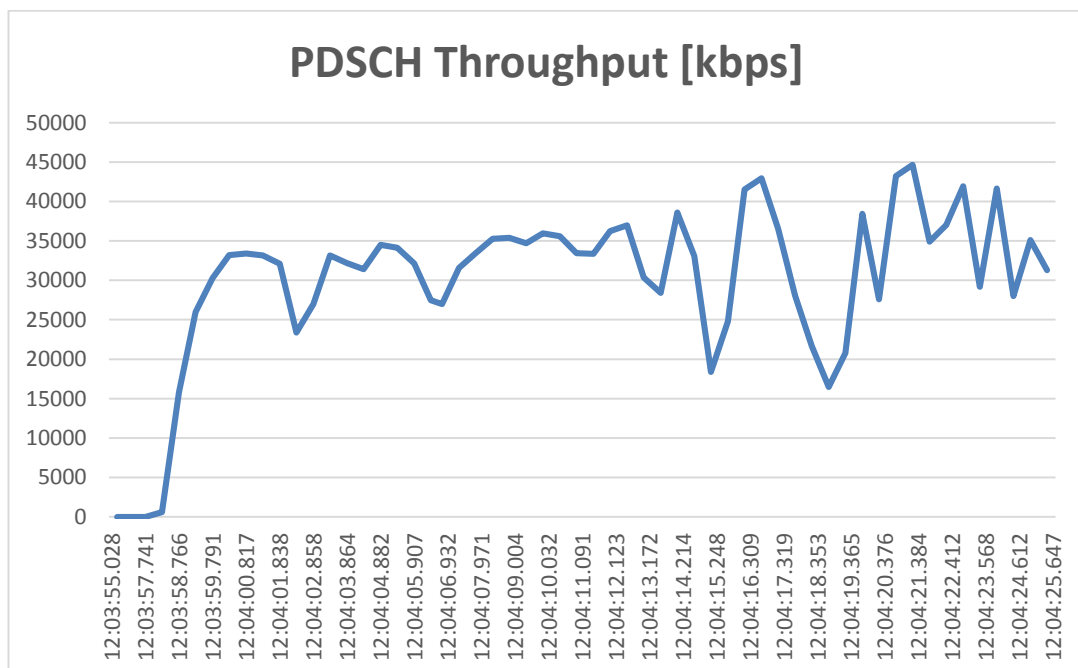
Kuvio 6. Soneran latausnopeus Sorilan koululta.

Kuviosta 7 nähdään Soneran latausnopeus Terälähden Sale-kaupan edustalta. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.



Kuvio 7. Soneran latausnopeus Terälähdessä.

Kuviosta 8 nähdään Soneran latausnopeus Muroleentien ja Muroleen kanavantien risteyksessä. Kuviossa nopeus on esitetty kilobitteinä sekunnissa.



Kuvio 8. Soneran latausnopeus Muroleentiellä.

4.3.4 Yhteenveto latausnopeuksista

Operaattoreiden toteutuneet latausnopeudet asettuvat yleisten ilmoitettujen 4G-latausnopeuksien vaihteluvälille. Operaattorit ilmoittavat nopeuden vaihteluväliksi 5-80 Mbps.

Terälahden Sale-kaupan edustalta saatiin jokaiselta operaattorilta lataustesti suoritettua. Tämä osoittautui ainoaksi paikaksi, josta saatiin vertailukelpoista dataa. DNA:n osalta nopeus asettui välille 60–70 Mbps. Elisalla nopeus asettui välille 40 – 70 Mbps. Soneralla nopeus asettui välille 30 – 40 Mbps. Tämän mittauspaikan parhaimman tuloksen sai DNA, jolla oli myös tasaisin nopeus. Vaihtelua latauksen aikana ei ollut niin paljon kuin Elisalla. DNA:n nopeus oli noin kaksinkertainen Soneraan verrattuna.

Paikkakohtaisia eroja varmasti on aina ja jos verrataan DNA:n ja Soneran tuloksia Sorilan koululta niin Sonera suoriutuu siinä paremmin.

5 POHDINTA

Mittalaitteena toiminut älypuhelin oli hyvä kokonaisuus. Laitteessa yhdistyivät hyvät laitteen ominaisuudet sekä hyvät mittaohjelmiston ominaisuudet. Laitteen akku kesti vaivattomasti koko päivän. Laitteen tekninen suorituskyky ja ruudun koko olivat hyviä. Ohjelmisto toimi vaivattomasti sekä nopeasti. Kokonaisuudessaan laite ja ohjelmisto olivat toimiva yhdistelmä.

Mittauksista saatiin suuri määrä dataa. Siitä hyödynnettiin tässä työssä vain osa, joten potentiaalia olisi monimutkaisempiinkin mittauksiin tai yksityiskohtaiseen tutkimiseen. Mittaustuloksia pidetään luotettavina sellaisenaan. Ei ole syytä epäillä laitteen tai ohjelmiston toimimattomuutta sillä jokaiselta operaattorilta saatiin samanlaista dataa.

Kämmenniemen alueelta saadun datan tutkiminen paljasti eroavaisuuksia operaattoreiden välillä. Todettiin, että DNA:lla on parempi signaalitaso (RSRP) kuin muilla operaattoreilla. Elisa/Saunalahti ei ollut paljon huonompi kuin DNA. Soneran signaalitasot jäivät selvästi alhaisimmiksi.

1. DNA, signaalitason vaihtelu pääosin -50 – -110 dBm.
2. Elisa, signaalitason vaihtelu pääosin -60 – -120 dBm.
3. Sonera, signaalitason vaihtelu pääosin -95 – -125 dBm.

Kämmenniemen alueelta saadun datan tutkiminen paljasti eroja signaalin laadussa (RSRQ). Todettiin, että DNA:lla on parhain laatu ja samalla pienin vaihtelu laadussa. Elisa/Saunalahti sekä Sonera olivat samalla tasolla keskenään.

1. DNA, signaalitason vaihtelu pääosin -5 – -10 dB.
2. Elisa/Saunalahti, signaalitason vaihtelu pääosin -5 – -20 dB.
3. Sonera, signaalitason vaihtelu pääosin -5 – -20 dB.

Tulokset signaalin suhteesta häiriöön ja kohinaan (SINR) olivat myös erilaisia operaattoreiden välillä. DNA:lla oli parhaimmat arvot ja samalla tasaisimmat vaihtelut arvoissa. Elisalla oli enemmän vaihtelua arvoissa. Soneralla puolestaan oli huonoimmat arvot. Tuloksista nähdään, että tämän ominaisuuden maksimiarvo oli 30 dB.

1. DNA, signaalitason vaihtelu pääosin 10 – 30 dB.
2. Elisa/Saunalahti, signaalitason vaihtelu pääosin -10 – 30 dB.
3. Sonera, signaalitason vaihtelu pääosin -10 – 20 dB.

Latausnopeuksista saatu data jäi vähäiseksi, mutta siitäkin saatiin yksi vertailukelpoinen mitaus eri operaattorien välillä. Terälahden Sale-kaupan edustalta saatiin jokaiselta operaattorilta lataustesti suoritettua. DNA:n osalta nopeus asettui välille 60–70 Mbps. Elisalla nopeus asettui välille 40 – 70 Mbps. Soneralla nopeus asettui välille 30 – 40 Mbps. Tämän mittauspaikan parhaimman tuloksen sai DNA, jolla oli myös tasaisin nopeus. Vaihtelua latauksen aikana ei ollut niin paljon kuin Elisalla. DNA:n nopeus oli noin kaksinkertainen Soneraan verrattuna.

DNA osoittautui tuloksien perusteella parhaimmaksi operaattoriksi näiltä mitatuilta osa-alueilta ainakin Kämmenniemen alueella. DNA:n ainoa haittapuoli on se, että mittausdataa saatiin noin 60 % vähemmän kuin muilta operaattoreilta. Tämä osoittaa sen, että DNA:lla on verkossa katvealueita paljon enemmän kuin muilla operaattoreilla. Elisa/Saunalahdella ja Soneralla datan määrässä ei ollut suurta eroa. Siitä ei saatu tietoa, oliko näillä kahdella operaattorilla katvealueita. Voidaan kuitenkin päätellä, että katvealueita oli huomattavasti vähemmän verrattuna DNA:n verkkoon.

Kokonaisuudessaan projekti tuntui onnistuneelta. Ensimmäisiksi mittauksiksi projekti tuntui haastavalta. Tietoa saatiin verkkojen kuuluvuuksista ja muista siihen liittyvistä ominaisuuksista. Hieman sekavan projektista teki se, että maantieteellisesti alue oli melko suuri ja mitausdataa tuli suuri määrä. Mittaustuloksiin vaikutti se, että mittaukset suoritettiin kuuluvuuksien osalta liikkuvasta ajoneuvosta. Tämä väistämättä vääristää tuloksia jonkin verran. Siitä ei ole tietoa miten paljon tulokset tästä mittaustavasta johtuen vääristyivät. Tuloksista ei myöskään käy ilmi millä tavoin mitatut verkot olivat kuormitettuna kyseisillä mittaushetkillä.

Kehittämisehdotuksena Tampereen ammattikorkeakoulu voisi mitata omalla kampusalueellaan toimivien langattomien verkkojen ominaisuuksia. Mittalaitteesta saisi uutta ulottuvuutta sekä koulu saisi tietoa omien verkkojen tilanteista. Lisäksi projekti olisi helpompi suorittaa sillä mittaukset voitaisiin tehdä paikan päällä.

LÄHTEET

4G. 2015. How fast is 4G?. 28.01.2015. Luettu 01.10.2015.
<http://www.4g.co.uk/how-fast-is-4g/>

GSM Arena. 2015. Samsung Galaxy S5. Luettu 28.10.2015.
http://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s5-6033.php

Neal Gompa. 2015. Deep dive: What is LTE?. 01.04.2015. Luettu 01.10.2015.
<http://www.extremetech.com/mobile/110711-what-is-lte>

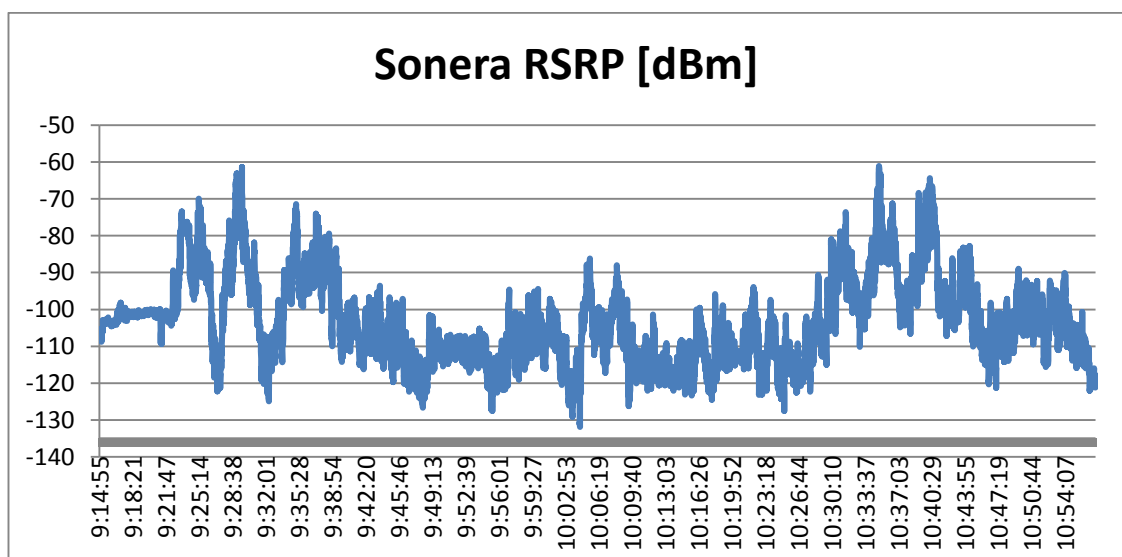
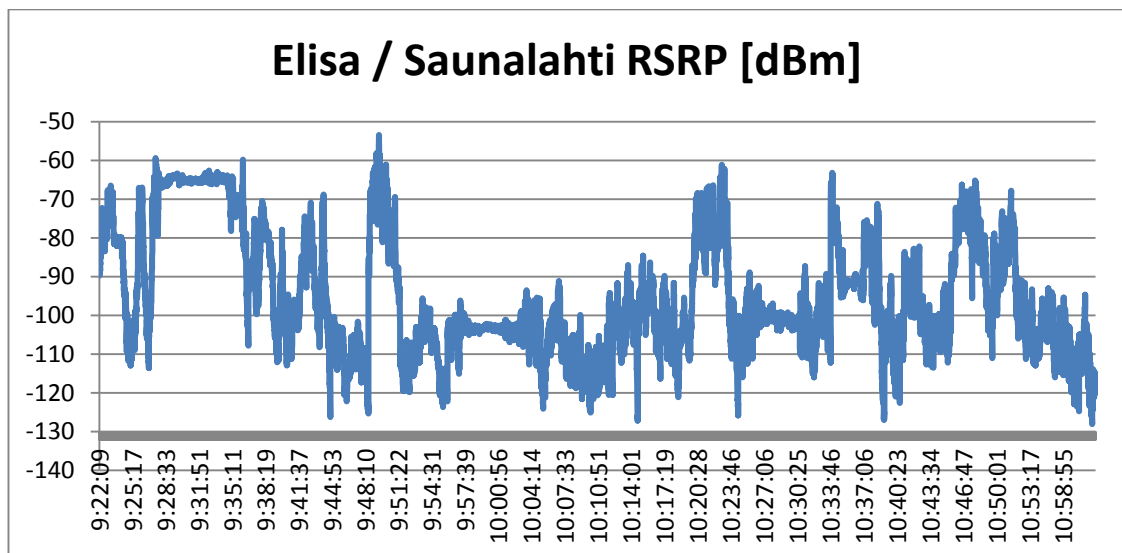
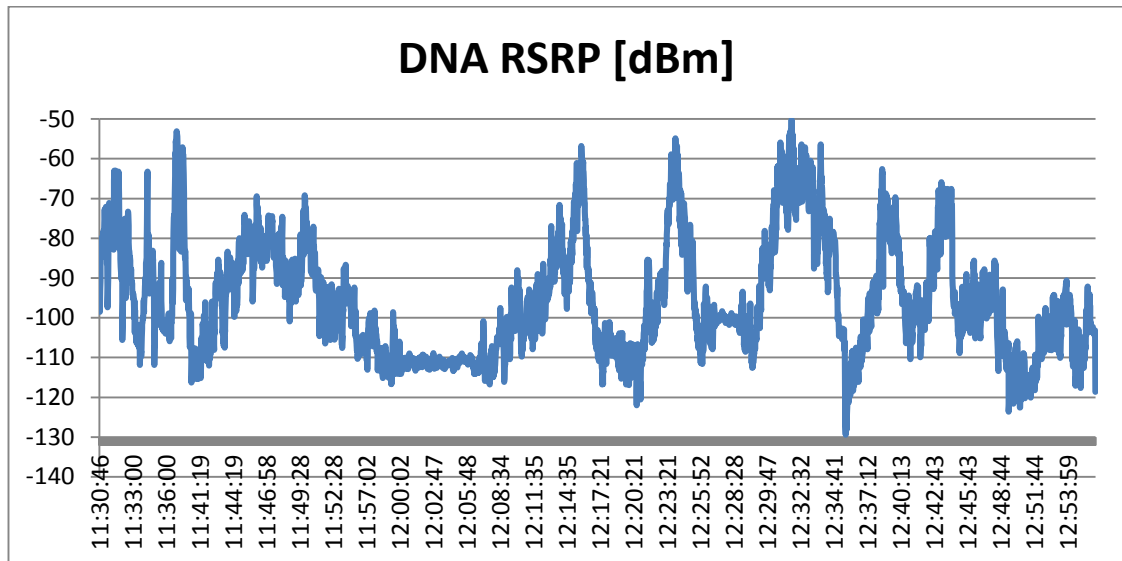
Simon Hill. 2013. What is LTE Advanced and why should you care?. 28.06.2013. Luettu 01.10.2015.
<http://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-lte-advanced-and-why-should-you-care/>

SwissQual AG. 2015. SwissQual history. 01.01.2015. Luettu 01.10.2015
<http://www.swissqual.com/en/about/history/>

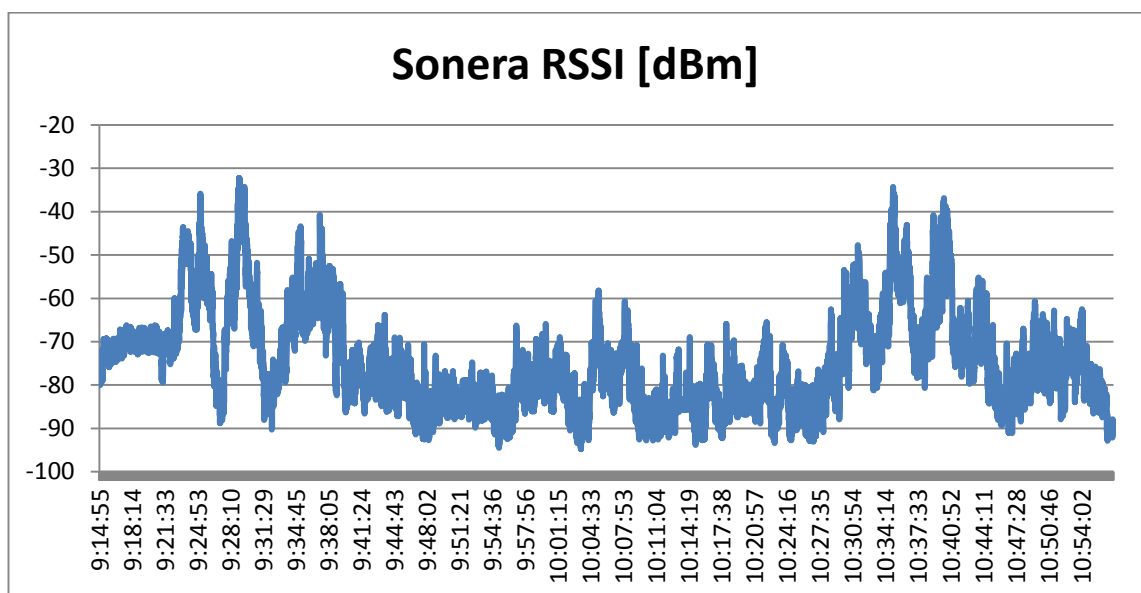
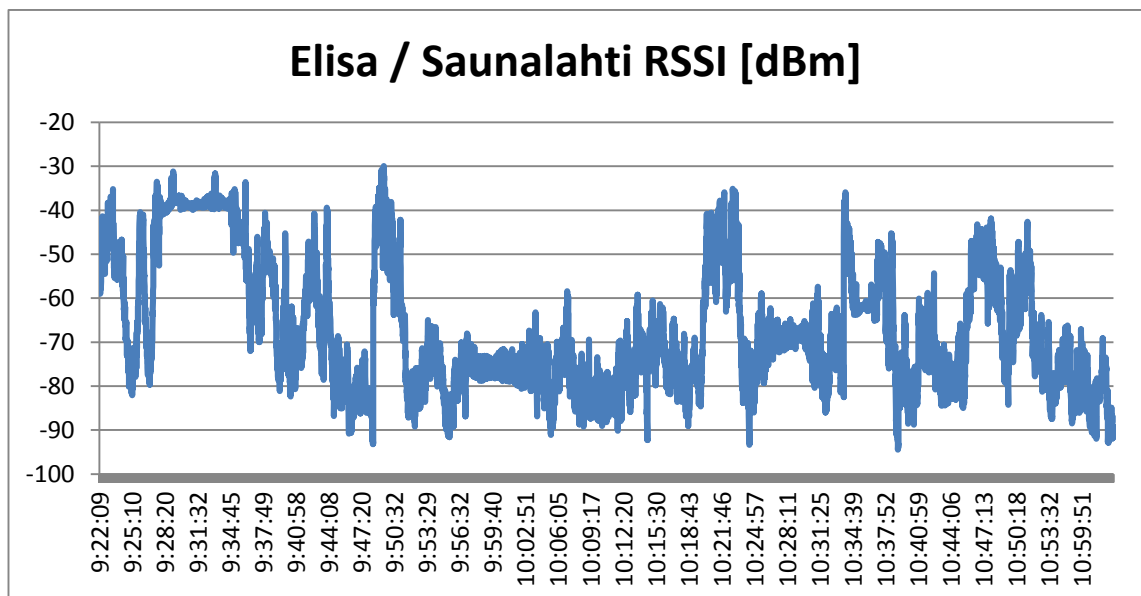
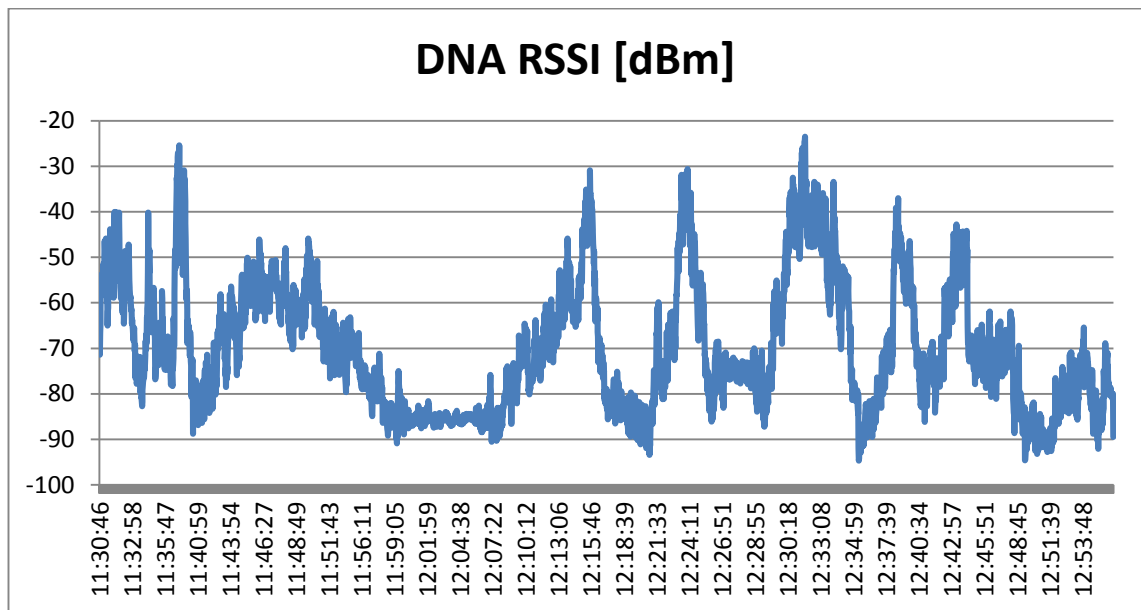
SwissQual AG. 2015. QualiPoc Android: The Premier Handheld Troubleshooter. 01.01.2015. Luettu 01.10.2015
<http://www.swissqual.com/en/products/optimization2/qualipoc-android/>

LIITTEET

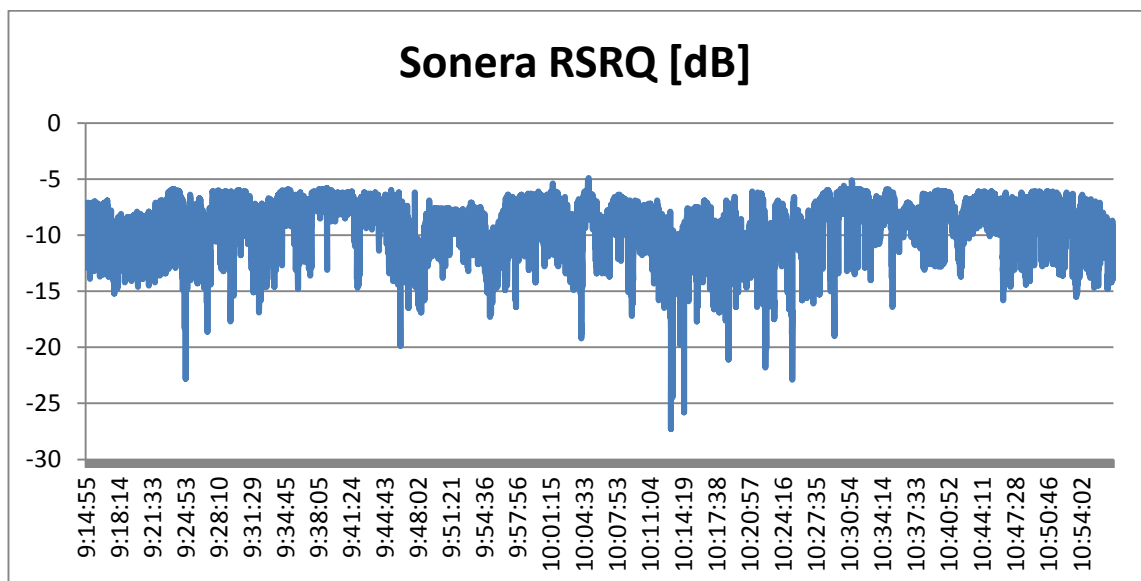
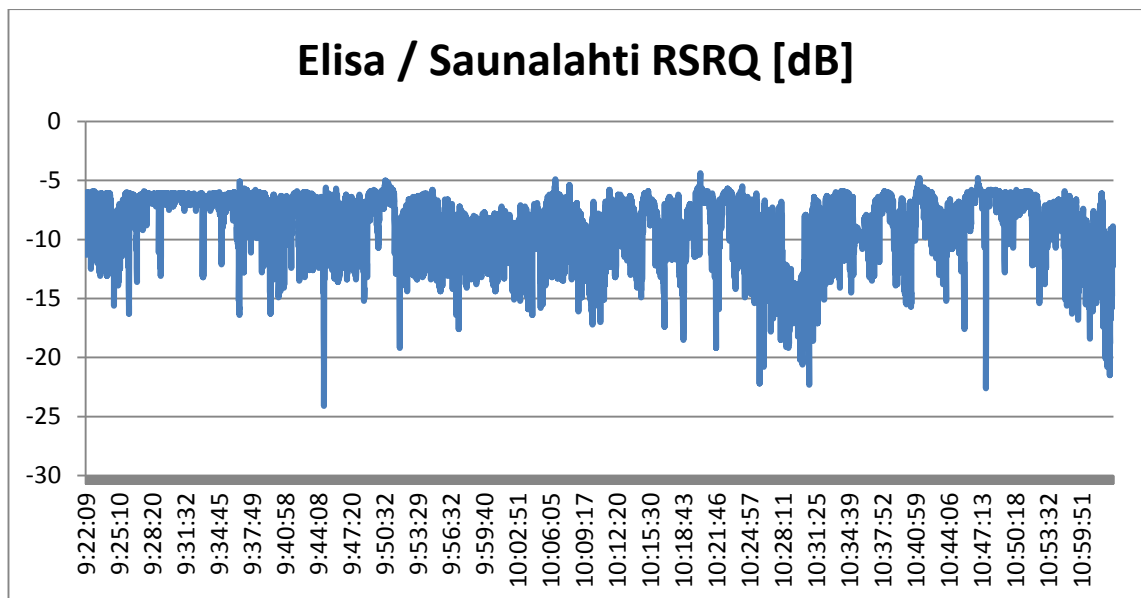
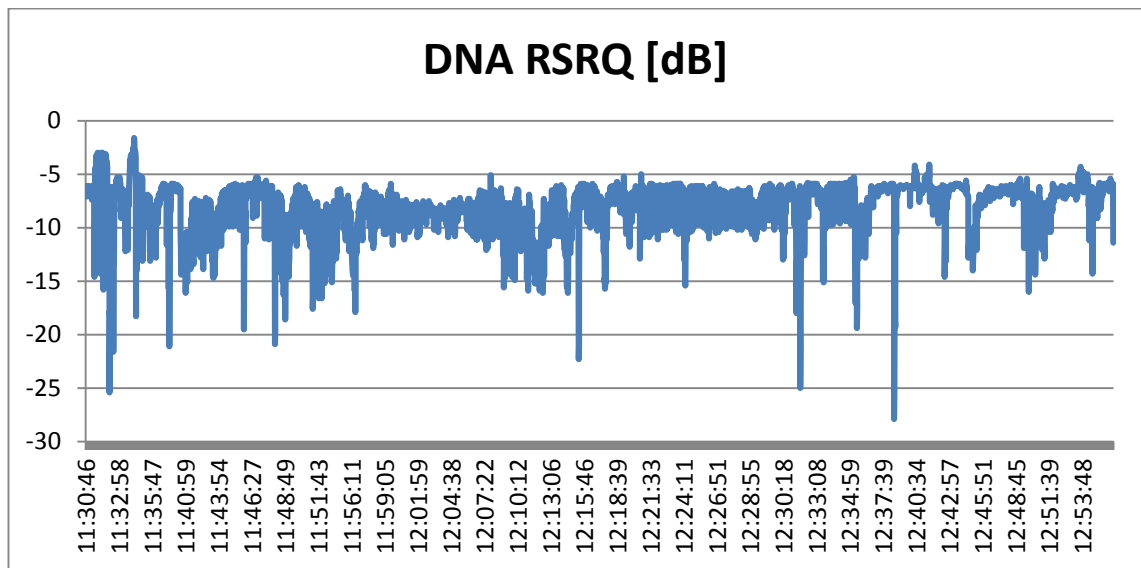
Liite 1. RSRP-kuvaajat koko reitiltä



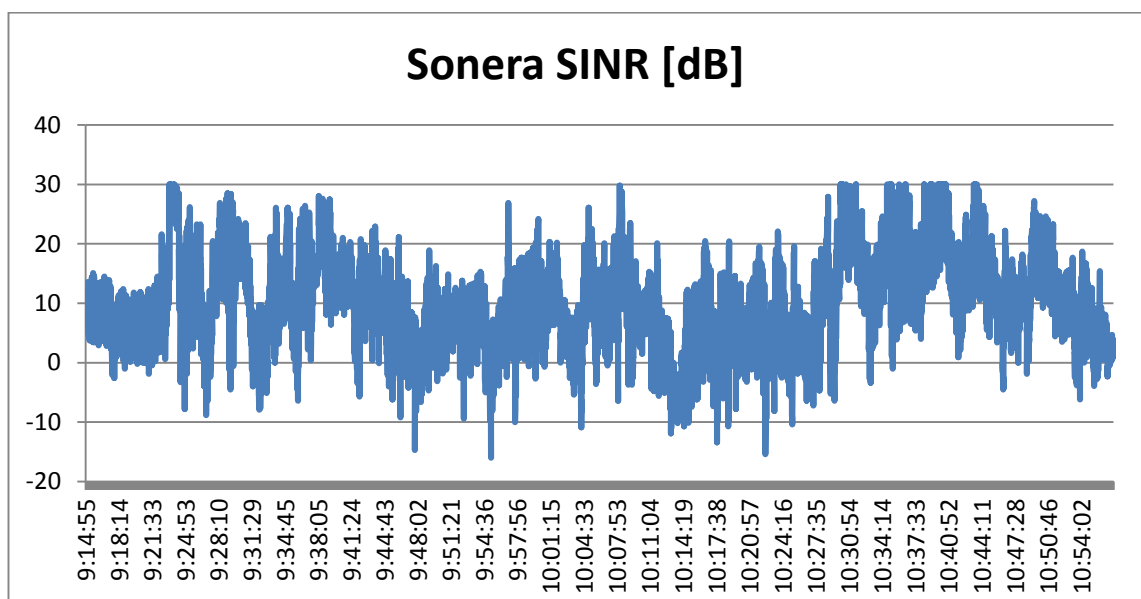
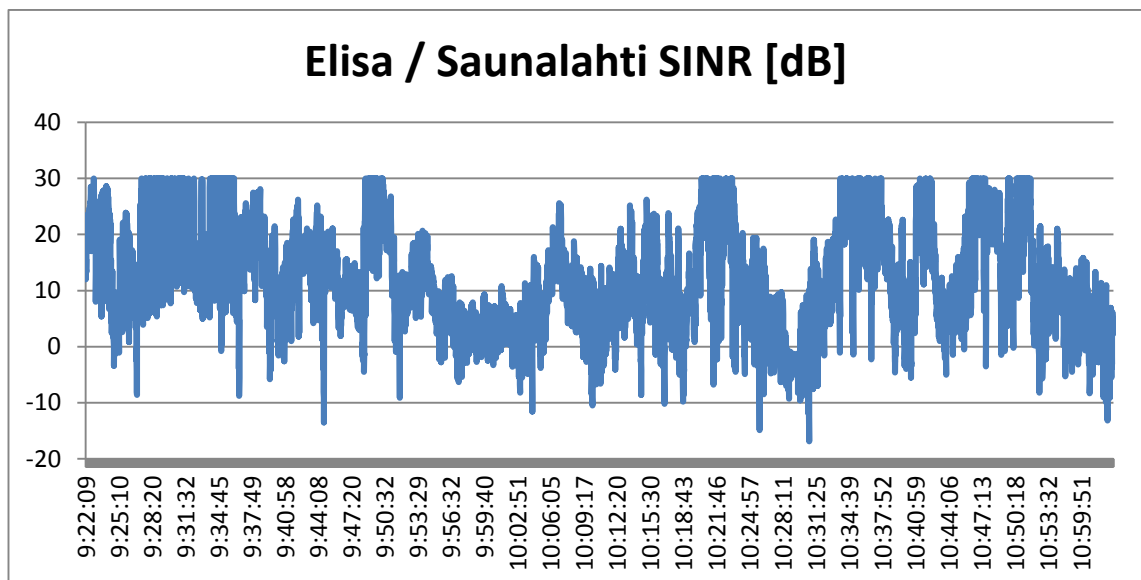
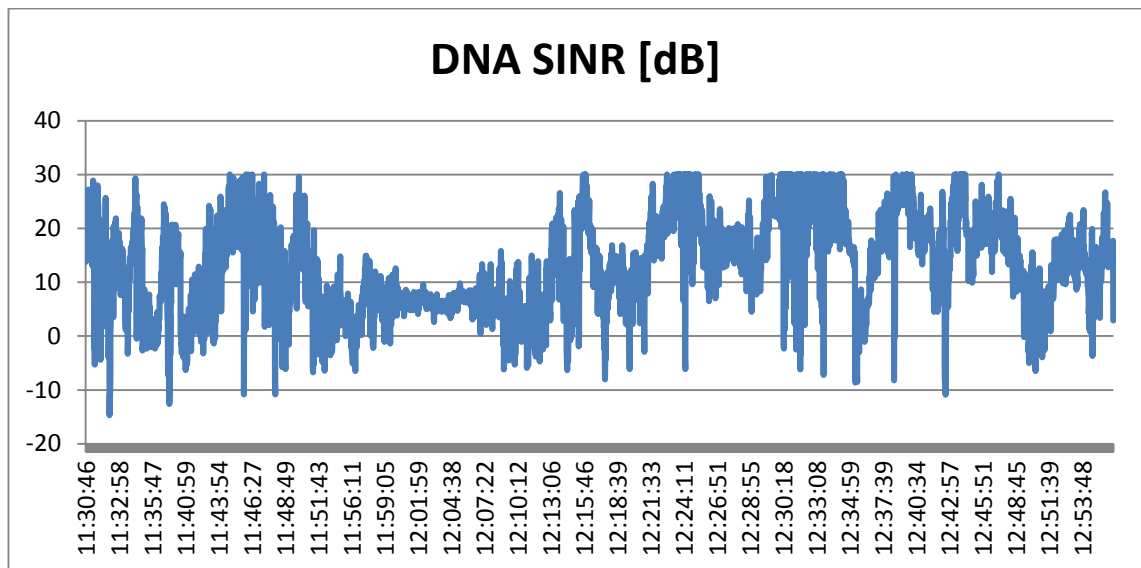
Liite 2. RSSI-kuvaajat koko reitiltä



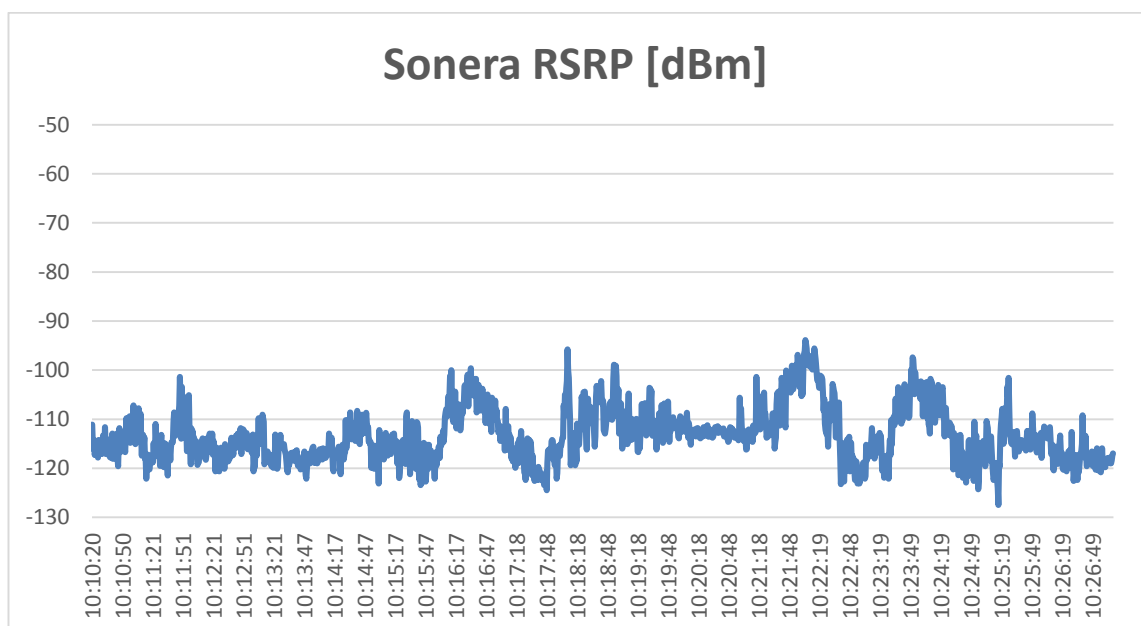
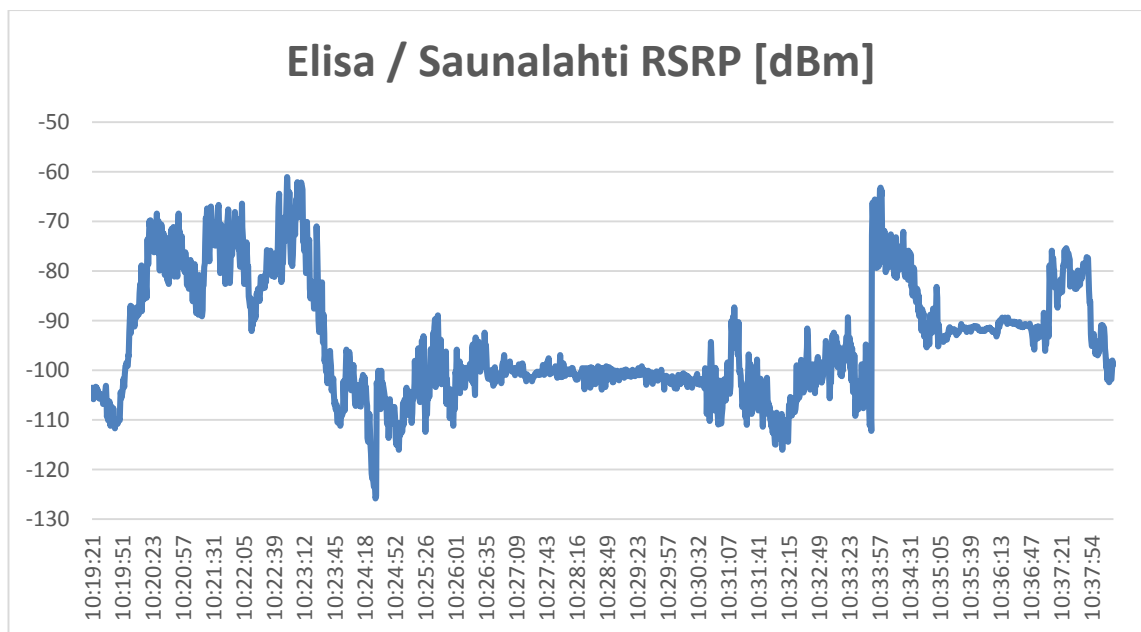
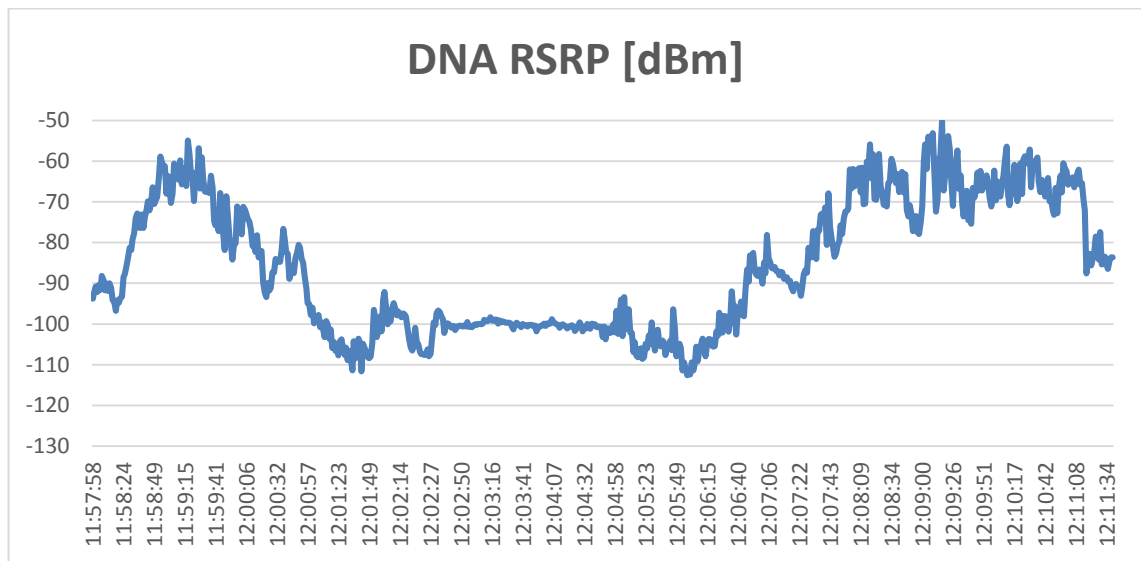
Liite 3. RSRQ-kuvaajat koko reitiltä



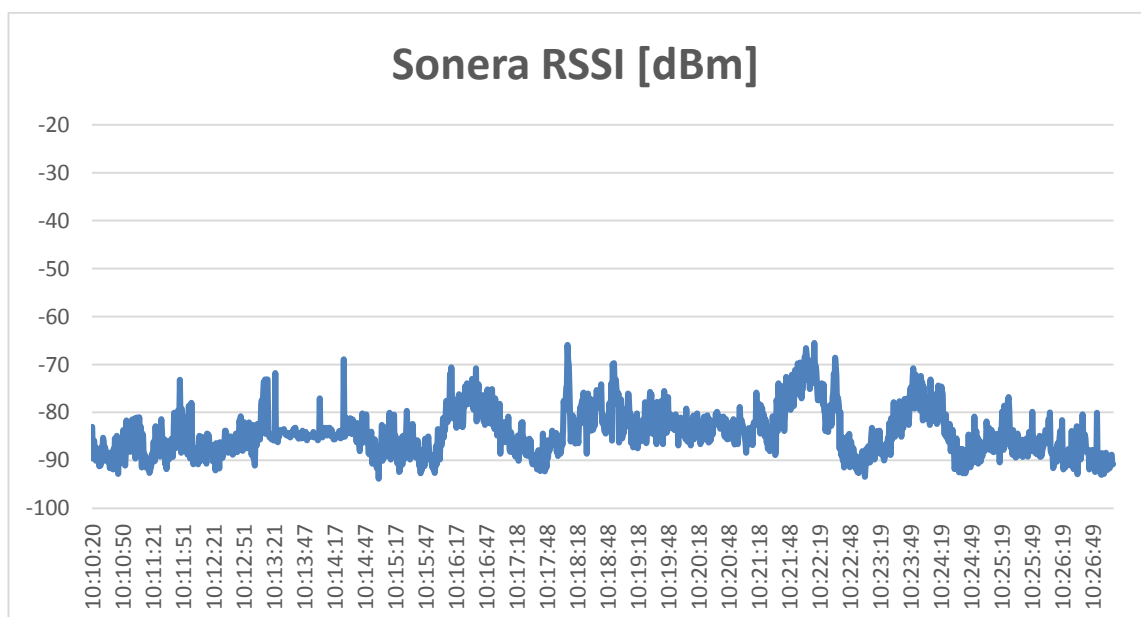
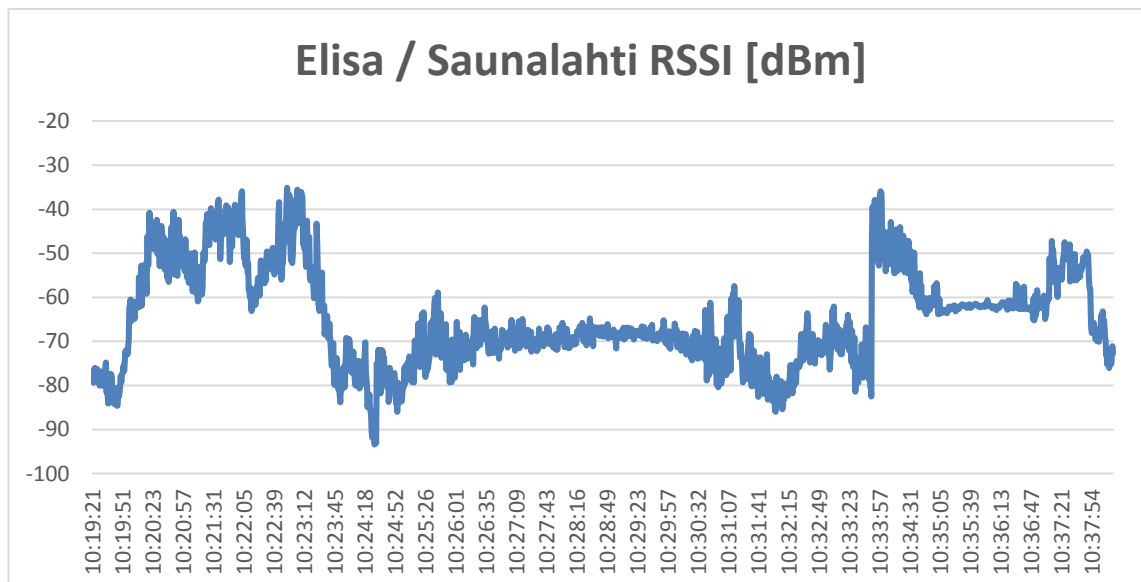
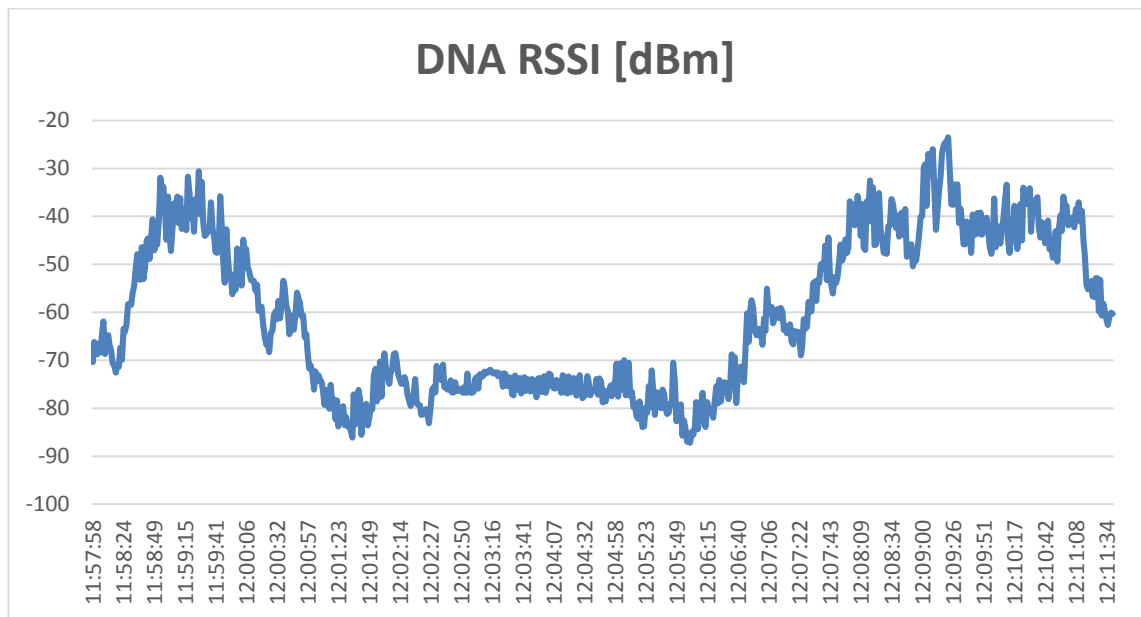
Liite 4. SINR-kuvaajat koko reitiltä



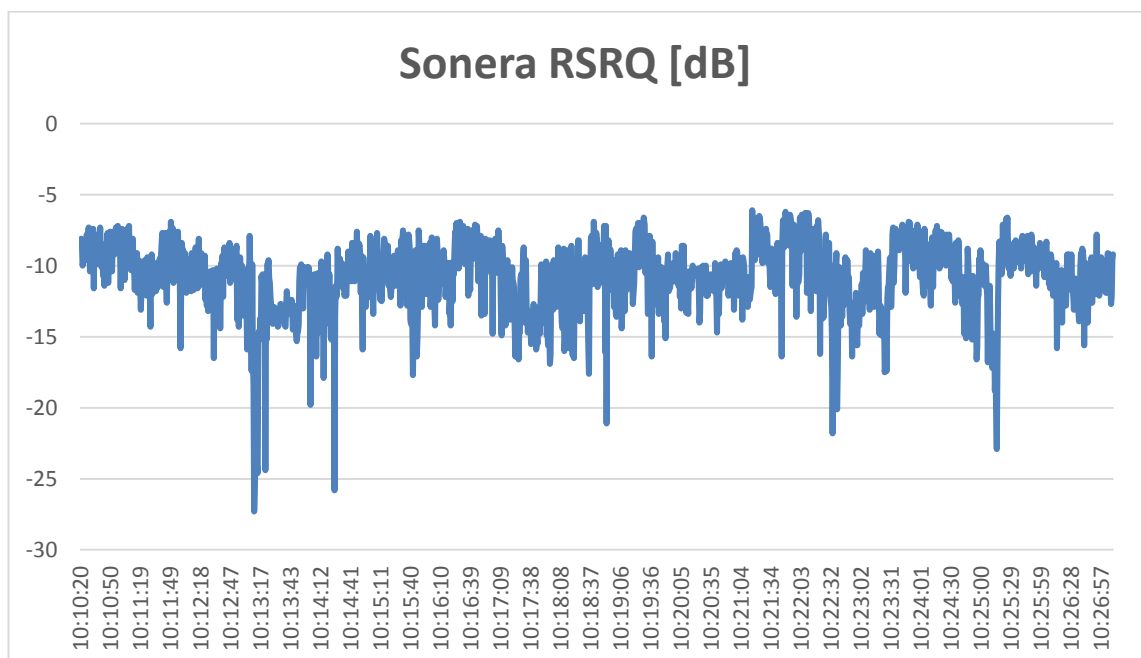
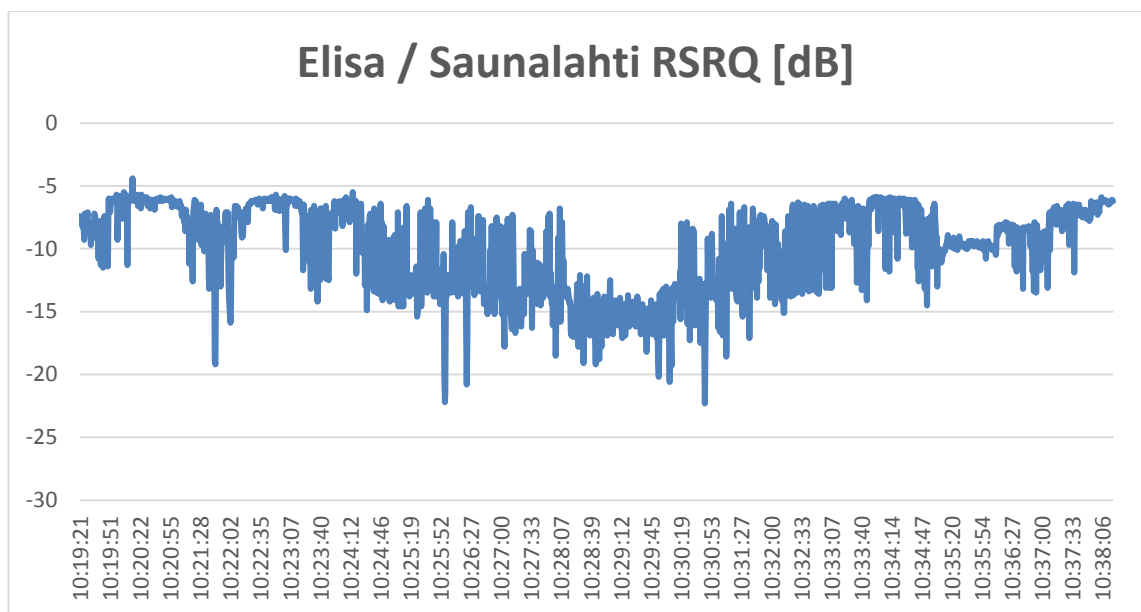
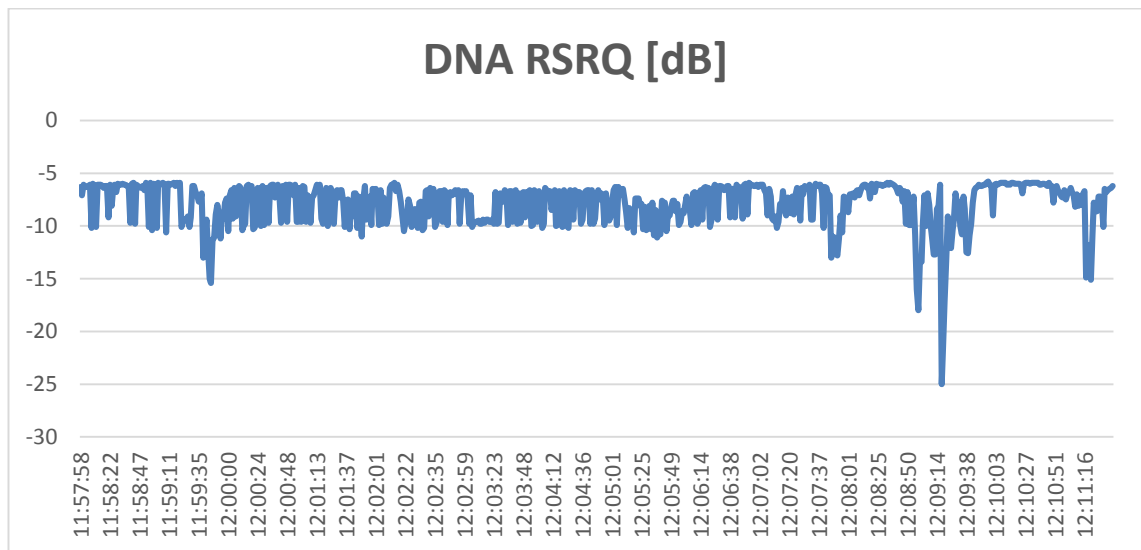
Liite 5. RSRP-kuvaajat Kämenniemessä



Liite 6. RSSI-kuvaajat Kämmenniemessä



Liite 7. RSRQ-kuvaajat Kämmenniemessä



Liite 8. SINR-kuvaajat Kämmenniessä

