



# **QualiPoc Android älypuhelin-pohjainen mittalaite mobiiliverkon analysointiin**

Matias Salonen

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2015  
Tietotekniikka  
Tietoliikennetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka  
Tietoliikennetekniikka

Matias Salonen

QualiPoc Android älypuhelin-pohjainen mittalaite mobiiliverkon analysointiin

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Joulukuu 2015

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä QualiPoc Android-laitteeseen, 4G-verkon mittauksiin ja yleisesti 4G-verkkoon sekä käsitellä 5G-verkon tulevaisuutta.

QualiPoc Android on älypuhelin-pohjainen työkalu ääni- ja datapalveluiden vianmääritykseen ja RF-optimointiin. Opinnäytetyössä keskityttiin 4G-verkon analysointiin.

Käytännön osuudessa QualiPoc Android-laitteella suoritettiin erilaisia mittauksia Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriossa ja ulkomaailmassa kolmen eri operaattorin verkossa. Tämän opinnäytetyön avulla saa yleiskuvan QualiPoc Android-laitteesta ja sen avulla tehtävistä 4G-verkon mittauksista. Työssä käsitellään muutama esimerkki mittauksista kuten kaikkien kolmen eri operaattorin verkossa suoritettut kuuluvuusmittaukset, SINR (signaalin ja kohinan sekä häiriön suhde)-kuvaajat ja latausnopeusmittaukset Terälahdesta.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Information and Communication Technologies  
Telecommunications and Networks

Matias Salonen  
QualiPoc Android smartphone based tool for mobile network analyzing

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 6 pages  
December 2015

---

This Bachelor's thesis is about QualiPoc android smartphone-based tool for mobile network analyzing and it also covers 4G and 5G networks. The first part of this thesis tells about the 4G network and speculates future usage and technological solutions of 5G. The practical part includes different types of 4G measurements that were made by QualiPoc android device.

Tampere University of Applied Science received a QualiPoc Android measuring device from Rohde & Schwarz for educational usage. This thesis gives you some general information about QualiPoc Android device and how to use it in 4G measurements. This thesis covers a few examples of measurements such as the LTE coverage measurements made by three different Operators network, SINR (Signal to interference plus noise ratio)-graphs and download measurement.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	LONG TERM EVOLUTION-VERKKO.....	8
2.1	Arkkitehtuuri.....	9
2.1.1	Radioverkko E-UTRAN.....	9
2.1.2	Runkoverkko EPC.....	10
2.1.3	Radioverkon ja runkoverkon muodostama kokonaisuus EPS .....	10
2.1.4	Päätelaite UE.....	11
3	5G-TEKNOLOGIA.....	12
3.1	Radioyhteysverkko .....	13
3.2	5G:n keskeisimmät kehitysalueet .....	14
3.3	Verkon suorituskyky .....	15
4	QUALIPOC ANDROID-MITTALAITE.....	17
4.1	Diversity Optimizer-ohjelmisto .....	18
4.1.1	NetQual NQView-käyttöliittymä .....	18
4.2	Asetukset.....	19
4.3	Monitorit .....	20
4.3.1	Status ja loki.....	21
4.3.2	Data .....	22
4.3.3	Palveleva solu.....	23
4.3.4	Solut ja kattavuus .....	24
4.3.5	Kartat.....	25
4.3.6	IP-monitori .....	26
4.3.7	Testit ja tapahtumat .....	26
4.4	4G-verkon mittaukset .....	27
4.4.1	Mittausparametrit .....	27
4.4.2	Kuuluvuusmittaukset .....	28
4.4.3	Latausnopeusmittaukset .....	31
5	POHDINTA.....	34
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET .....	37
	Liite 1. RSRP-kuvaajat TAMK – Murole reitiltä.....	37
	Liite 2. RSRQ-kuvaajat TAMK – Murole reitiltä .....	39
	Liite 3. RSSI-kuvaajat TAMK – Murole reitiltä .....	41

**LYHENTEET JA TERMIT**

3GPP	3rd Generation Partnership Project
APN	Access Point Name
BLER	Block Error Rate
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FC	Fog Computing
GSM	Groupe Special Mobile
HetNet	Heterogeneous Network
HSS	Home Subscriber Server
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radio communication Sector
LTE	Long Term Evolution
Max TxPwr	Max Transmission Power
ME	Mobile Equipment
MEC	Mobile Edge Computing
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MT	Mobile Termination
NFV	Network Function Virtualization
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCI	Physical Cell Id
PDN	Packet Data Network
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
P-GW	Packet Data Network Gateway
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QRxLevMin	Minimum Required RX level
RAT	Radio Access Technology
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality

RSSI	Received Signal Strength Indication
RTT	Round Trip Time
SAE	System Architecture Evolution
SDN	Software Defined Network
S-GW	Serving Gateway
TE	Terminal Equipment
TxPwr	Current Transmission Power
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USIM	Universal Subscriber Identity Module
WAN	Wide Area Network

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään QualiPoc Android älypuhelin-pohjaista verkon analysointityökalua, neljännen sukupolven matkapuhelinverkkotekniikka 4G LTE:tä ja 5G-verkon tulevaisuutta.

Käytännön osuudessa suoritettiin LTE-verkon kuuluvuus- ja latausnopeusmittauksia kolmen eri operaattorin verkossa. Mittaukset suoritettiin ajamalla TAMK – Murole väliä autolla ja kolmea eri sim-korttia käyttämällä kiertämällä matkan varrella muutamia asuin-alueita sekä keskusta-alueita. Latausnopeusmittauksia suoritettiin myös TAMK – Murole reitillä pysähtymällä reitin aikana ennalta määrättyihin paikkoihin lataamaan 100 MB tiedosto kaikilla kolmella sim-kortilla. Mittausdataa kertyi niin paljon, että työssä käsitellään vain muutama valittu esimerkkimittaus, joiden perusteella saadaan riittävä yleiskuva 4G-verkon mittauksista.

Työn alussa käsitellään 4G-verkon historiaa, tekniikkaa ja arkkitehtuuria. Työn keskivaiheessa tutustutaan 5G-verkon kehitykseen, tulevaisuuteen ja tutustutaan QualiPoc Android-laitteen ominaisuuksiin sekä Diversity Optimizer-ohjelmistoon. Työn loppuosassa esitellään käytännön mittauksia ja tutkitaan niistä kerättyä dataa.

## 2 LONG TERM EVOLUTION-VERKKO

Long Term Evolution LTE:n kehitys alkoi 2004 usean standardointijärjestön yhteistyö-organisaation 3GPP:n aloitteesta. LTE kehittyi 3GPP:n aikaisemmasta järjestelmästä (UMTS), joka taas kehittyi GSM-järjestelmästä. International Telecommunication Union (ITU) julkaisi 2008 listan vaatimuksia neljännen sukupolven (4G) matkapuhelin tekniikoille nimellä IMT-Advanced. LTE:n ensimmäinen versio dokumentointiin ja hyväksyttiin 3GPP:n Release 8 julkaisussa Joulukuussa 2008. Release 8 sisälsi tärkeimmät LTE:n ominaisuudet.

3G-tekniikan nopea yleistymisen, sekä 2007 Applen julkaistua ensimmäisen puhelimensa iPhone ja myös Googlen Android-käyttöjärjestelmään perustuvien puhelinten ilmestyminen lisäsivät tiedonsiirron käyttöä suuresti. 2G- ja 3G-verkot alkoivat ruuhkautua 2010 aikoihin, mikä johti verkon kapasiteetin lisäämiseen.

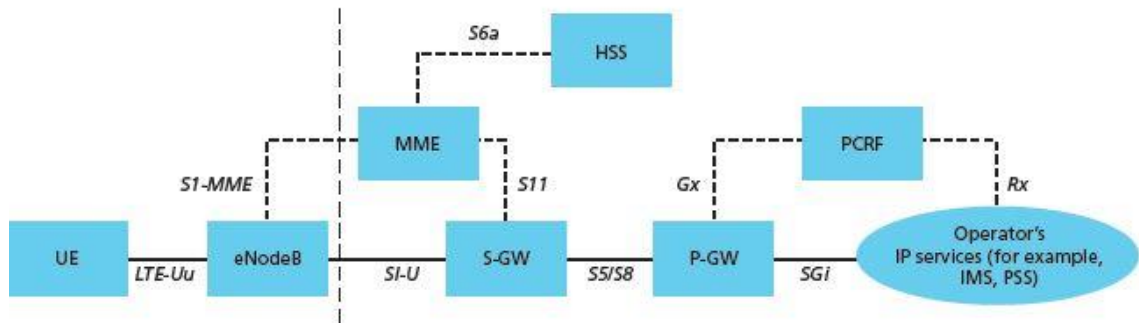
LTE-verkko perustuu OFDMA-tekniikkaan yhdistettynä korkeampaan modulointiin (64QAM asti), suurempaan kaistanleveyteen (20MHz asti) ja MIMO-antenni tekniikkaan (4x4 asti) jotka mahdollistavat teoreettisen nopeuden 350 Mb/s.

LTE-Advanced on kehittyneempi versio LTE-tekniikasta joka standardisoitiin 3GPP:n Release 10 julkaisussa marraskuussa 2011. LTE-Advanced tukee teoriassa modulaatiota 128QAM asti, kaistanleveyttä 100MHz asti ja MIMO-antennitekniikkaa 8x8 asti. Teoriassa LTE-Advanced tekniikalla voidaan saavuttaa jopa 3 Gb/s nopeus (3GPP. LTE).



## 2.1 Arkkitehtuuri

LTE:n arkkitehtuuri muodostuu kolmesta komponentista, jotka ovat päätelaite UE, radioverkko E-UTRAN ja runkoverkko EPC. Kuvassa (kuva 1) on kuvattu LTE-verkon arkkitehtuuri (LTE Network Architecture).



Kuva 1. LTE-arkkitehtuuri (Alcatel Lucent, The LTE Network Architecture)

### 2.1.1 Radioverkko E-UTRAN

E-UTRAN käsittelee radioliikennettä matkapuhelimen ja EPC:n välillä ja sisältää vain yhden komponentin, joka on tukiasema eli evolved Node B (eNB). Jokainen eNB-tukiasema ohjaa puhelimia yhdessä tai useammassa solussa, ja jokainen puhelin kommunikoi yhden tukiaseman ja yhden solun kanssa kerrallaan. Matkapuhelimen kanssa kommunikoidavaa tukiasemaa kutsutaan palvelevaksi tukiasemaksi (serving eNB).

Tukiasemalla on kaksi päätehtävää, ensimmäiseksi tukiasema lähettää radiolähetystyksiä laatuslinkissä oleviin matkapuhelimiin ja vastaanottaa lähetystyksiä uplinkiltä käyttäen analogisia ja digitaalisia signaalien prosessointi funktioita LTE:n ilmarajapinnassa. Toiseksi tukiasema ohjaa matkapuhelimien matalan tason operaatioita, lähettämällä erilaisia signaalintasanomia kuten tukiaseman vaihto viestejä. Jokainen tukiasema on yhteydessä runkoverkkoon EPC S1-rajapinnan kautta. Tukiasema voi myös olla yhteydessä toiseen tukiasemaan X2-rajapinnan avulla, jota lähinnä käytetään signalointiin ja pakettien välittämiseen verkosta toiseen siirtymisen aikana.

### 2.1.2 Runkoverkko EPC

EPC (Evolved Packet Core) on LTE:n runkoverkko, joka tarjoaa mobiiliverkon ydintoiminnot, jotka aikaisemmissa 2G- ja 3G-verkoissa on toteutettu kahdella eri osa-alueella: piirikytkentäisenä ääntä varten ja pakettikytkentäisenä tiedonsiirtoa varten. Runkoverkossa mobiilipalvelut, kuten ääni-, data- ja videoyhteydet, ovat rakennettu käyttäen IP-protokollaa (Alcatel Lucent. Introduction to evolved Packet Core).

EPC koostuu seuraavista komponenteista: MME (Mobility Management Entity) eli liikkuvuudenhallintaelementti, S-GW (Serving Gateway) ja P-GW (Packet Data Network Gateway). MME on ohjaustason elementti, joka on yhteydessä tukiasemiin ja huolehtii myös LTE-päätelaitteen signaloinnista tilaajarekisterin HSS (Home Subscriber Server) kanssa. MME vastaa päätelaitteen UE seurannasta ja kutsumisesta päätelaitteen ollessa valmiustilassa.

S-GW on radioverkon ja runkoverkon välinen yhdyskäytävä, joka palvelee käyttäjää UE reitittämällä saapuvia ja lähteviä IP-paketteja, sekä kuljettaa dataa tukiaseman ja PDN:n välillä.

P-GW kommunikoi ulkomaailman kanssa SGi-rajapinnan kautta. P-GW on yhteydessä yhden tai useamman ulkoisen laitteen tai pakettidataverkon kanssa, kuten verkko-opeeraattorin palvelimien, internetin tai IP-multimedia-alijärjestelmän kanssa. Jokainen PDN tunnistetaan APN:n avulla (LTE Network Architecture).

### 2.1.3 Radioverkon ja runkoverkon muodostama kokonaisuus EPS

LTE-verkon radioverkko osa E-UTRAN ja runkoverkko EPC muodostavat yhdessä kokaisuuden, jota kutsutaan EPS (Evolved Packet System), jonka tehtävä on välittää kiinteän verkon yhdyskäytävästä pakettidata päätelaitteeseen. EPS on täysin IP-pohjainen ja siinä kulkevat reaaliaikaiset palvelut sekä datapalvelut IP-protokollaa käyttäen. IP-osoite on varattu päätelaitteelle, kun se on käynnistetty ja osoite luovutetaan uuteen käyttöön laitteen sammussa. LTE-verkko muodostuu tukiasemista, jotka ovat suoraan yhteydessä

toisiinsa ja jokainen tukiasema on yhteydessä verkkoon. Tämän ansiosta erillisiä verkonohjauskeskuksia ei tarvita, ja näin verkon arkkitehtuurista on saatu yksinkertainen, jolloin yhteyden muodostaminen verkossa on saatu nopeammaksi ja viiveet pienemmiksi. (Alcatel Lucent, LTE Network Architecture).

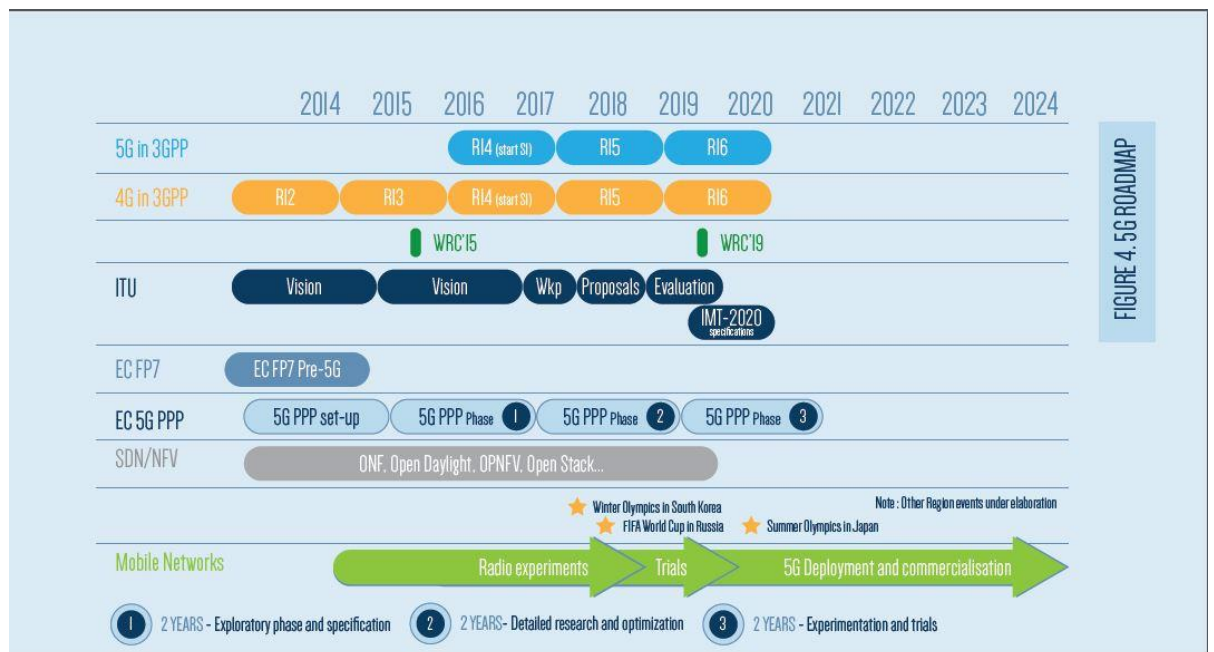
#### **2.1.4 Pääteleite UE**

Pääteleite UE:n (User Equipment) arkkitehtuuri on identtinen aikaisempien UMTS- ja GSM-järjestelmien kanssa. Varsinainen viestintälaite tunnetaan nimellä ME (Mobile Equipment). ME voidaan jakaa kolmeen komponenttiin: MT, TE ja UICC. MT (Mobile Termination) hoitaa kaikki kommunikaatio toiminnot, TE (Terminal Equipment) valvoo datan kulkemista ja UICC (Universal Integrated Circuit), joka tunnetaan SIM-korttina, pyörittää sovellusta USIM. USIM varastoi käyttäjätietoja kuten puhelinnumeron ja kotiverkon tunnisteet (LTE Network Architecture).

### 3 5G-TEKNOLOGIA

5G on matkapuhelintekniikoiden seuraava kehitysaskel. 5G-tekniologian tarkoituksena on tarjota yhteys kaikenlaisille laitteille ja sovelluksille, jotka hyötyvät verkkoyhteydestä. Mobiililaajakaistan yleistymisen johtaa suurempaan verkon kapasiteetin ja siirtonopeuksien tarpeeseen. 5G tarjoaa langattoman yhteyden monenlaisiin uusiin sovelluksiin, kuten älyvaatteisiin, älykoteihin, liikenteen turvallisuuteen ja ohjaukseen, kriittisen infrastruktuurin ja teollisuuden sovelluksiin, sekä erittäin nopeaan median lähetykseen. Toisin kuin aikaisemmat matkaviestintäteknologiat, 5G-tekniologiaa ei tule nähdä pelkkänä radioverkkotekniikkana, vaan yleisenä langattoman yhteyden ratkaisuna vastaamaan kasvavia tiedonsiirron vaatimuksia vuodesta 2020 eteenpäin.

Alkuvuodesta 2012 ITU-R (International Telecommunication Union Radio Sector) aloitti kehitysohjelman ”IMT for 2020 and Beyond”, joka antoi lähtölaukauksen 5G-tekniologian kehitystyölle ympäri maailmaa. 5G-järjestelmien kaupallisen käyttöönoton odotetaan alkavan vuodesta 2020 eteenpäin (ITU. ITU towards ”IMT for 2020 and beyond”).



Kuva 2. 5G etenemissuunnitelma (5GPPP, 5G Vision)

5G-tekniikan täytyy pystyä vastaamaan arviolta 1000-kertaa suurempaan datan määrään, kymmeniin miljardeihin erilaisiin laitteisiin, 10—100 kertaa suurempaan saatavissa olevaan käyttäjän dataan, 5-kertaa pienempään viiveeseen ja 10-kertaa parempaan akun keston.

5G-tekniikka mahdollistaa monen tukiaseman välisen koordinaation, kehittyneet antennit ja laitteesta laitteeseen kommunikoinnin.

2020-vuonna ihmiset ja erilaiset järjestelmät eivät ole ainoita, jotka luovat ja jakavat dataa, vaan miljardit esineet ovat myös olennainen osa viestintäinfrastruktuuria. Tämä käsittää pilvilaskennan, virtualisoinnin, mobiililaajakaistan massiivisen kasvun, suuremman datan määrän kuin koskaan aikaisemmin ja enemmän uusia laitteita sekä liiketoimintamalleja. 5G-infrastruktuuri tulee olemaan myös paljon aikaisempaa tehokkaampi. Paranneltu spektrin tehokkuus mahdollistaa 5G-järjestelmien kuluttavan murto-osan siitä energiasta, mitä 4G-verkot kuluttavat tällä hetkellä samalla tiedonsiirtomäärällä.

Nykyiset radioyhteysteknologiat RATs (Radio Access Technologies), kuten LTE ja uudet 5G-tekniikat tulevat olemaan osa tulevaisuuden joustavia ja dynaamisia 5G-järjestelmiä. Uudet tekniikat tulevat olemaan pieniviiveisiä ja tarve ylimääräiselle kapasiteetille vaatii kommunikoinnin operoivan korkeammilla taajuusalueilla kuin aikaisemmin. 5G-järjestelmän täytyy kyetä tarjoamaan monenlaisia langattomia palveluja erilaisiin käyttötapauksiin, joten järjestelmän täytyy perustua joustavaan radioverkkoratkaisuun, joka voi adaptoida eri vaatimuksia ja kehitystarpeita. Myös lisätaajuuksia tarvitaan, jotta pystytään täyttämään tulevien palvelujen vaatimukset (Ericsson. 5G radio access).

### **3.1 Radioyhteysverkko**

Radioyhteysverkko pysyy langattoman tiedonsiirron keskeisenä osana, mutta silti tulevina vuosina on odotettavissa suuria muutoksia. Uusi 5G-radio yhdistää nykyistä ja uutta tekniikkaa täydentäen LTE:tä. 5G sisältää olemassa olevia järjestelmiä kuten LTE-Advanced ja Wi-Fi, yhdistettyinä uusien mullistavien tekniikoiden kanssa näin mahdollistaen erittäin tiheän verkon, konemaisen kommunikoinnin, erittäin luotettavan tiedon-

siirron ja minimaalisen latenssin. On tärkeää pitää uusien ilmarajapintojen lukumäärä minimissä, jotta voidaan varmistaa uusien radioteknologioiden toimivan täydellisesti keskenään, sekä vanhojen olemassa olevien teknologioiden kanssa.

Jotta kyetään vastaamaan nopeasti kasvavaan suorituskykyyn ja erittäin alhaiseen latenssiin, vaaditaan tiheän verkon lisäksi lisää taajuuksia. Kuitenkaan ei ole taloudellisesti kannattavaa rakentaa kaikkialla tiheää verkkoa pienellä latenssilla ja suurilla gigabittien nopeuksilla, koska näitä ominaisuuksia tarvitaan vain osassa tapauksissa.

MIMO-antennitekniikka käyttäen voidaan hyödyntää uusia kaistoja senttimetrin aallon- ja millimetrin aallonpituuksien alueella. Uudet sovellukset tarvitsevat millisekunnin tai pienemmän latenssin, joten tarvitaan laskentatehoa lähellä käyttäjää. Tämä muuttaa makroasemat pieniksi datakeskuksiksi.

Vaikka laskentaresurssit ovat lähellä radiota, hallinta- ja koordinoitoinninnot sijaitsevat enemmän keskitetysti varmistaen saumattoman integroinnin WAN-verkon kanssa (Nokia. Network architecture for the 5G era).

### **3.2 5G:n keskeisimmät kehitysalueet**

Verkon kapasiteetin nopean kasvun ja tarvittavan kattavuuden vuoksi tarvitaan lisää radiotaajuuksia. Uudet taajuudet täytyy varata ja ottaa käyttöön nopeasti, koska ilman riittäviä taajuuksia laajakaistan ulottumissa asuvat ihmiset jäävät ilman tulevaisuuden palveluja. Lisäksi saatavilla olevia taajuuksia täytyy käyttää tehokkaammin. Lisensoimattomat kaistat kuten 5 GHz, tai tulevaisuudessa 60 GHz, tarjoavat lisää vaihtoehtoja dataliikenteen käytössä parhaan priorisoinnin liikenteessä tai vähemmän kriittisissä sovelluksissa.

Tähän mennessä matkaviestintä on keskittynyt alle 6 GHz taajuuksiin, ja jotta pystytään vastaamaan 2020—2030 aikavälin vaatimuksiin, tarvitaan yli 10 GHz ja mahdollisesti 100 GHz asti yltäviä taajuuksia.

5G-verkossa on tarkoitus käyttää entistä enemmän tukiasemia sijoitettuna heterogeeniseen verkkoon (HetNet) yhdistäen makroasemia pienempien tukiasemien kanssa käyttäen erilaisia radioteknologioita. Näihin radioteknologioihin kuuluvat LTE, WI-FI ja tulevat 5G-teknologiat, jotka integroituvat joustavasti eri tilanteissa. Heterogeeniselle verkolla tulee olemaan laaja valikoima suorituskykyvaatimuksia, mikä tekee itsetietoisista verkoista välttämättömiä.

5G-verkossa on tarkoituksena tuoda tukiasemat lähemmäksi käyttäjää pienempien solujen avulla ja antaa enemmän radioresursseja aktiivisen käyttäjän ulottuville. Tämä myös vähentää huomattavasti radiosignaalin kiertoaikaa RTT (Round-Trip-Time) mahdollistaen alhaisemman latenssin ja parantaa yleistä verkon suorituskykyä luomalla aliverkkoja, jotka käsittelevät osan liikenteestä paikallisesti.

Ohjelmistot tulevat ohjaamaan 5G-verkkoja. Tämän seurauksena 5G tulee olemaan voimakkaasti riippuvainen uusista nousevista teknologioista, kuten SDN (Software Defined Networking), NFV (Network Functions Virtualization), MEC (Mobile Edge Computing) ja FC (Fog Computing), joiden avulla voidaan saavuttavaa 5G-teknologian vaatima suorituskyky, skaalautuvuus sekä ketteryys (5GPP. 5G Vision).

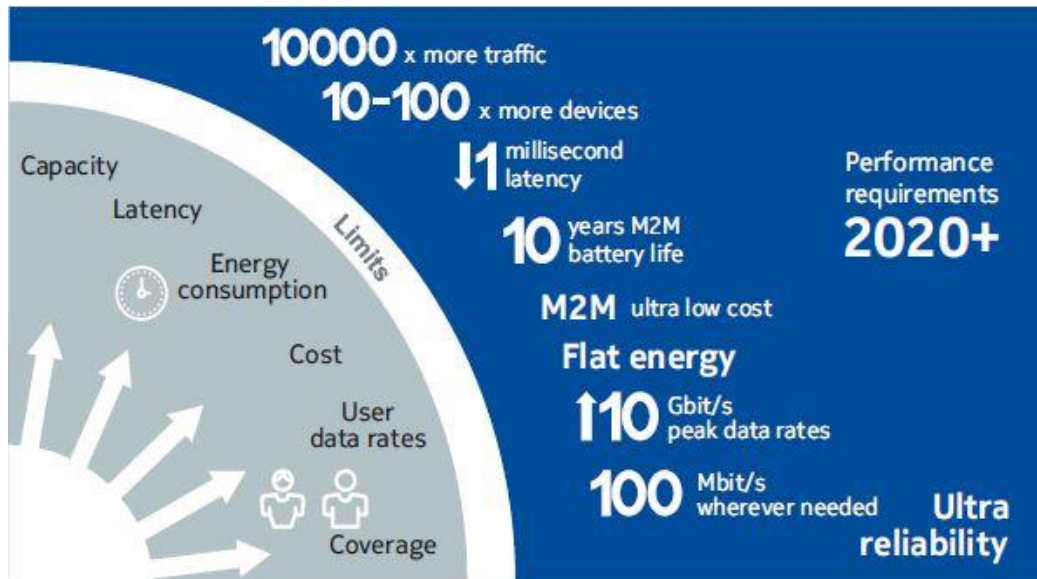
### **3.3 Verkon suorituskyky**

5G-verkossa suorituskyvyn mittaukset tulevat entistä tärkeämmäksi, koska suurimäärä erilaisia sovelluksia ja käyttötapauksia tarvitsevat jokaiseen tapaukseen räätälöidyn teknologisen ratkaisun, jotta yksittäiset matkaviestintäjärjestelmän rajoitukset eivät rajoita yleistä teknologian kehitystä.

Verkon suorituskyvystä on tarkoitus saada paras mahdollinen kehittämällä nykyisiä radioyhteysteknologioita ja rakentamalla uusia langattomia 5G-yhteysteknologioita. Esimerkiksi latenssin on pienennytävä samassa suhteessa nousevien datanopeuksien kanssa.

5G-järjestelmän tiedonsiirron huippunopeus tulee olemaan korkeampi kuin 10 Gb/s, mutta vielä tärkeämpää on että solun reuna alueella tiedonsiirtonopeus on 95 % käyttäjistä

100 Mb/s. Tämä mahdollistaa mobiililaajakaistan luotettavana korvaajana kaapeliyhteyksille.



Kuva 3. 5G-verkon suorituskyvyn vaatimukset (Nokia, 5G use cases and requirements)

Vielä tärkeämpää kuin pelkkä tiedonsiirron huippunopeus tai spektrinen tehokkuus tulee olemaan 5G-järjestelmän tuki eri vaatimuksille. Vaatimuksia ovat osan laitteista vaatimat suuret latausmäärät, erittäin suuri määrä antureita, jotka lähettävät pieniä datapaketteja sekä etäohjatut robotti sovellukset. Robotti sovellukset tarvitsevat pienen viiveen ohjausta varten ja korkean lataus kapasiteetin UHD-videokuva varten (Nokia. Looking ahead to 5G).



## 4 QUALIPOC ANDROID-MITTALAITE

QualiPoc Android on älypuhelin-pohjainen työkalu mobiiliverkon testaamiseen. QualiPoc perustuu uusimpiin Android-älypuhelimiin ja tässä työssä käsiteltävä mittalaite on Samsung Qalaxy S5-älypuhelin, johon QualiPoc-ohjelmisto on asennettu.

QualiPoc tukee kaikkia mobiiliverkkoteknologioita, joita käytetään maailmanlaajuisesti ja se kattaa useammat protokollakerrokset, kuten IP-pinon reaaliajassa. QualiPoc tarjoaa laajan joukon testejä, kuten puhelu-, äänenlaatu-, data-, videon suoratoisto- ja laatutestit. QualiPoc tarjoaa myös kanavan ja solun lukituksen, sekä RF-optimointia langattomien verkkojen laadun ja kattavuuden valvontaan.

QualiPoc Android-laitteessa on muokattava käyttöliittymä, joka tukee useita standardeja ja konfiguroitavia monitoreja, sekä kaavioita, joita voidaan valita esittämään mittauksia, erilaisia parametreja ja testituloksia reaaliajassa. Käyttöliittymä sisältää laiteinformaatiota, suorituskykyilmaisimia ja yli 300 eri parametria. Lisäksi QualiPoc tallentaa mitaustiedostot, jotka voidaan toistaa uudestaan laitteella tai siirtää tietokoneelle SwissQual ohjelmistolle analysointia varten (SwissQual. QualiPoc Android).



Kuva 4. QualiPoc Android-mittalaite

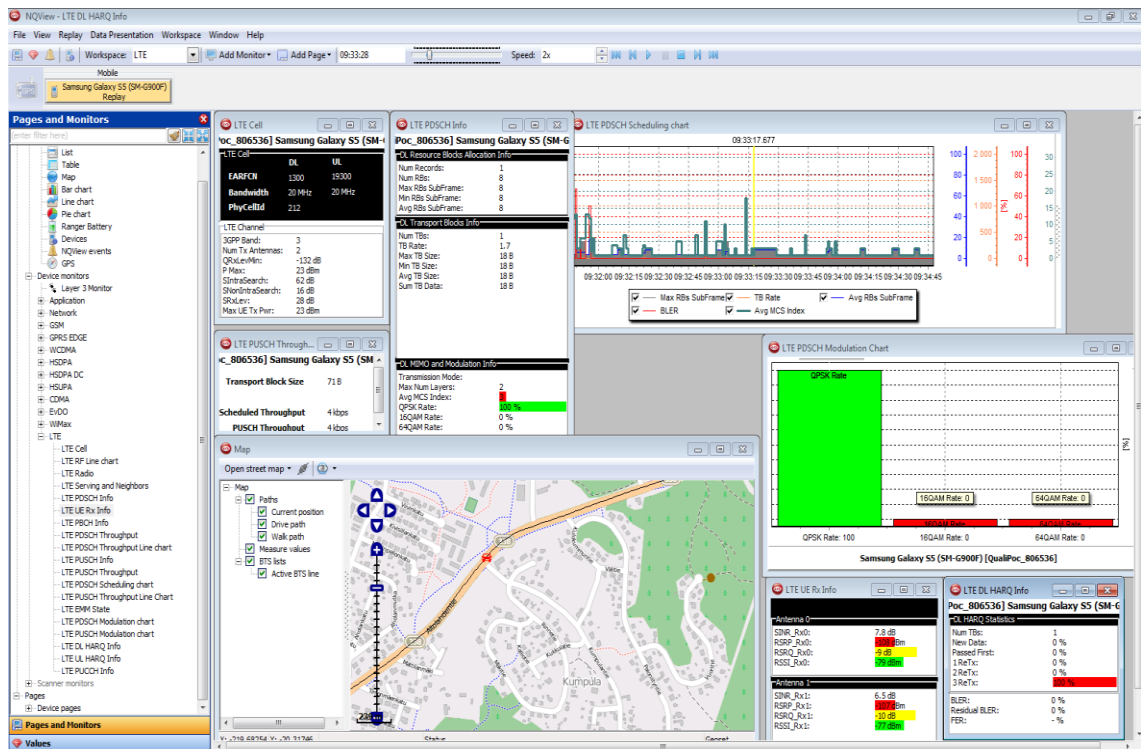
## 4.1 Diversity Optimizer-ohjelmisto

Diversity Optimizer on usean teknologian työkalu mobiiliverkon optimointiin ja palvelujen laadun (QoS)-testaukseen. Se on siirrettävä, kevyt ja tietokone-pohjainen testaus työkalu, joka yhdistää erilaiset Android-älypuhelimet, datalaitteet, skannerit ja GPS -laitteet tietokoneeseen. Diversity Optimizer-ohjelmistoon voidaan myös yhdistää ja käyttää QualiPoc Android-puhelimia testilaitteina. Ulkoiset laitteet voidaan kytkeä standardi PC-liitännöiden kautta, kuten USB, PCIe ja Ethernetin kautta.

Diversity Optimizer työkalulla voidaan suorittaa laaja joukko erilaisia verkon optimointi tehtäviä, kuten verkon kattavuus, laatu ja kapasiteetti analysointi. Optimointiin kuuluu myös edistyneitä RF-skannausvaihtoehtoja, kuten LTE MIMO ja alikaistojen analysointi. Lisäksi testilaitteelle voidaan tehdä reaaliaikainen teknologian pakotus (SwissQual. Diversity Optimizer).

### 4.1.1 NetQual NQView-käyttöliittymä

NQView on Diversity Optimizer-ohjelmiston graafinen käyttöliittymä, joka tarjoaa joustavan ja täysin muunneltavan graafisen käyttöliittymän datan analysointiin, testien konfigurointiin ja reaaliaikaiseen monitorointiin. NQView-käyttöliittymän avulla voidaan luoda mittausten pohjalta yksilöllisiä työtiloja ja kustomoitavia monitoreja. Nopeata käynnistystä varten NQView tarjoaa ennalta määriteltäviä monitoreja, jotka näyttävät nopealla silmäyksellä tiedot mittauksien radio-olosuhteista tai kattavan yhteenvedon käynnissä olevista mittauksista. Käyttöliittymässä voi kerralla olla kolme eri konsolia konfigurointia, monitorointia ja optimointi sekä suorituskykytestausta varten. NQView sisältää enemmän kuin 900 eri kustomoitavaa arvoa, joita voidaan esittää monitoreissa, kartalla, taulukossa tai erilaisissa kaavioissa. Käyttöliittymä sisältää, myös yli 70 ennalta määriteltäviä monitoria tiettyyn laitteeseen, teknologiaan tai palvelutesteihin. NQView tukee OpenStreetMap- ja MapX-karttoja, joten käyttäjä voi seurata mittauksia kartalla reaaliajassa tai jälkikäteen mittausten analysoinnissa (SwissQual. NQView).



Kuva 5. NQView-käyttöliittymä

NQView-käyttöliittymästä löytyy suorituskykytesti-monitori puhelimille, datalaitteille, PSTN/ISDN-kanaville, LAN-adapttereille ja RF-skannereille. Monitori tarjoaa yleiskuvan kaikista laitteista ja myös testituloksista.

NQView osaa toistaa kaikki mittaustiedostot, joten kun käyttäjä toistaa mittaustiedostoa, hän voi samalla luoda uusia monitoreja ja näkymiä perusteellista analyysia varten. Tiedostojen toistomoodi tukee useiden tiedostojen latausta Diversity-ohjelmistosta tai QualiPoc-laitteesta. Tiedostojen toistossa voidaan säätää nopeusasetuksia ja edetä askel taaksepäin tai eteenpäin. Tiedostoa toistaessa voidaan myös etsiä mittauksista eri funktioita ajan, tapahtumien sekä verkkokerroksen viestien ja KPI haun avulla.

## 4.2 Asetukset

QualiPoc Androidia voidaan helposti konfiguroida monipuolisten asetusten avulla. Asetuksista löytyy: Kartta-asetukset, BTS-informaatio, verkkokerros, IP-monitori, työtilan

kustomointi, ilmoitukset, teknologian pakotus, yksikkömuunnokset, edistykselliset analysointi asetukset, ulkoasu, asetusten tuonti / vienti ulkoiselle tiedostolle ja QualiPoc päivitys asetukset.

### 4.3 Monitorit

QualiPoc Android-älypuhelimien avulla voidaan hallita ja valvoa testejä erilaisilla monitoreilla. Oletusasetuksilla QualiPoc-laitteen työtila sisältää useita teknologia-, kartta- ja testitulokset-monitoreita. Käyttäjä voi muokata omia työtiloja eri monitoreilla ja asetuksilla sekä tallentaa omat työtilat. Kuvista (kuva 6 ja kuva 7) nähdään QualiPoc Android-laitteen kaikki monitorit ja monitorien kuvaukset.

Monitor	Description
Status	Includes general information about the operator, technology, GPS, and general test results statistics.
Log	Provides test execution information.
WCDMA/GSM/LTE	Displays the main serving cell information based on the actual technology.
HSDPA/HSUPA	Provides details on HSDPA and HSUPA data technology information. This monitor is only available for WCDMA technology.
GPRS/EDGE	Provides details on GPRS or EDGE data technology information. This monitor is only available for GSM technology.
LTE DL/LTE UL	Provides details on LTE data technology information. This monitor is only available for LTE technology.
Cells	Provides an overview of serving and neighbour cells status and coverage. The content of this monitor depends on the main technology that the mobile phone is connected to.

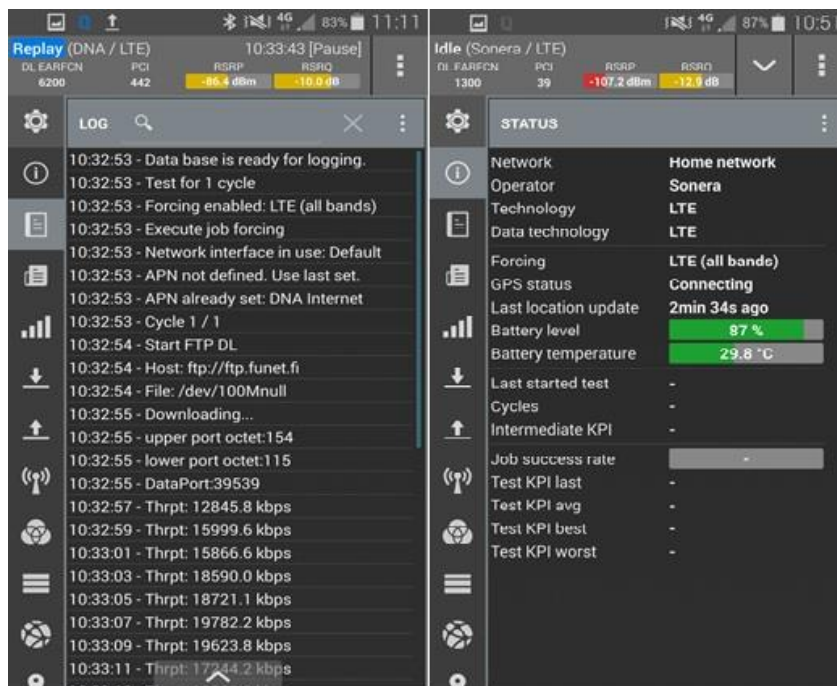
Kuva 6. QualiPoc Android monitorit (SwissQual, QualiPoc Android Manual)

Monitor	Description
Coverage line-chart	Displays serving and neighbour cell coverage. The content of this monitor depends on the main technology that the mobile phone is connected to.
Test	Displays the summary of the on-going tests including KPI bar chart.
Layer3	Displays a list of signalling layer 3 headers including the option to decode each I3 message
IP	Displays the HTTP, FTP, TCP, DNS and ICMP messages that have been captured including the option to decide the messages.
Events	Displays a list of voice and data call related events as well as Wi-Fi scanning results.
Map	Displays the current position, route and BTS information on a map based on Google maps or Open Street Map.
Indoor	Displays a floor plan for indoor marking navigation.

Kuva 7. QualiPoc Android monitorit (SwissQual, QualiPoc Android Manual)

### 4.3.1 Status ja loki

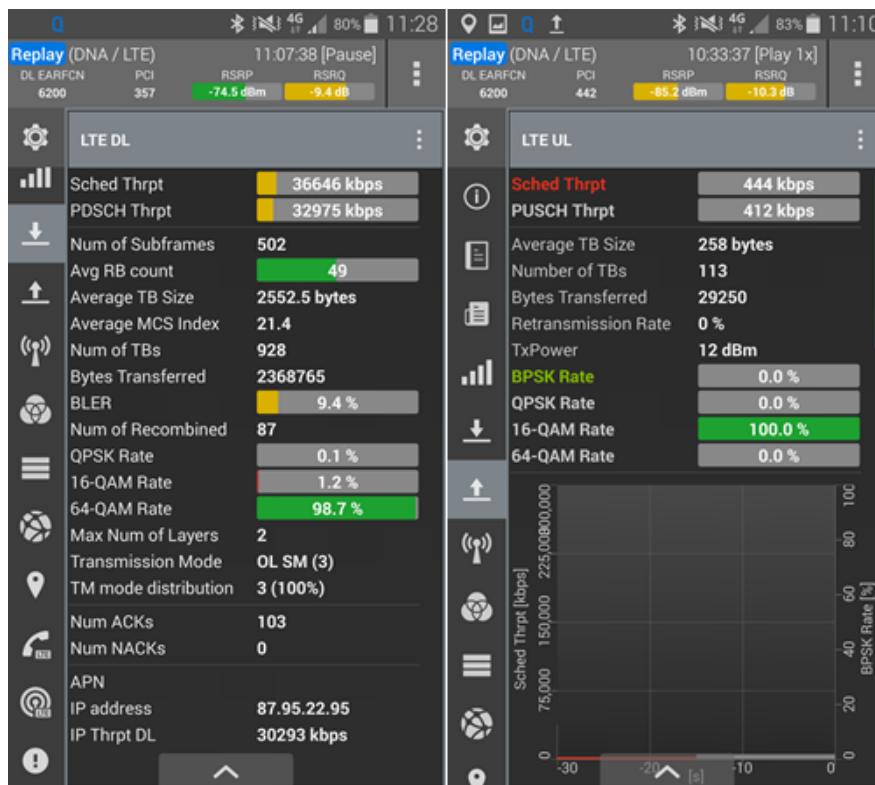
Monitori näyttää yleistä tietoa QualiPoc Android-laitteen nykyisestä tilasta ja aktiivisista testeistä. Status-monitori näyttää tietoa käytössä olevasta verkosta, GPS-sijainnista ja testien tuloksista. Loki-monitori listaa toiminnot, jotka ovat aktiivisia testejä suorittaessa.



Kuva 8. Status ja loki-monitori

### 4.3.2 Data

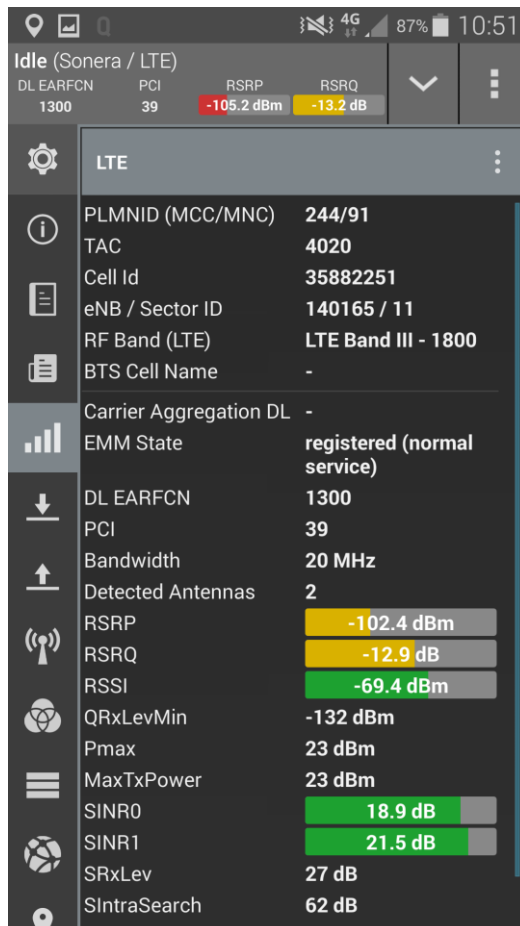
QualiPoc esittää automaattisesti data-monitorissa valittuun teknologiaan liittyvää informaatiota. Kuvassa (kuva 9) nähdään LTE DL-data monitori ja monitorista nähdään mm. PDSCH-kanavan hetkellinen siirtonopeus, suunniteltu siirtonopeus, BLER eli virheellisten vastaanotettujen resurssilohkojen määrä ja keskimääräinen siirtolohkojen (TB) koko. LTE UL-monitorista nähdään vastaavia tietoja, kuten PUSCH-kanavan hetkellinen siirtonopeus, suunniteltu siirtonopeus ja keskimääräinen siirtolohkojen koko.



Kuva 9. Data-monitorit

### 4.3.3 Palveleva solu

Monitorissa nähdään palvelevan solun tiedot ja RF-parametreja, kuten vastaanotetun signaalin voimakkuus, signaalin laatu, antennien määrä, kaistanleveys, solun pienin vaadittu signaalin vastaanottotaso, maksimi lähetysteho, häiriöt ja solun valinta vastaanottotaso.



Kuva 10. Palveleva solu-monitori

#### 4.3.4 Solut ja kattavuus

Monitori näyttää naapurisolut ja niihin liittyviä RF-parametreja. Näiden tietojen avulla voidaan seurata solun uudelleen valintaa ja kanavanvaihtoja. Monitorista nähdään myös palvelevan solun ja naapurisolujen signaalitasot. Signaalitasot voidaan esittää myös viivakaavion avulla, jossa naapurisolun tiedot näytetään ohuilla viivoilla ja palvelevan solun tiedot paksummilla viivoilla, kuten kuvasta (kuva 11) nähdään.



Kuva 11. Solut ja kattavuus-monitori

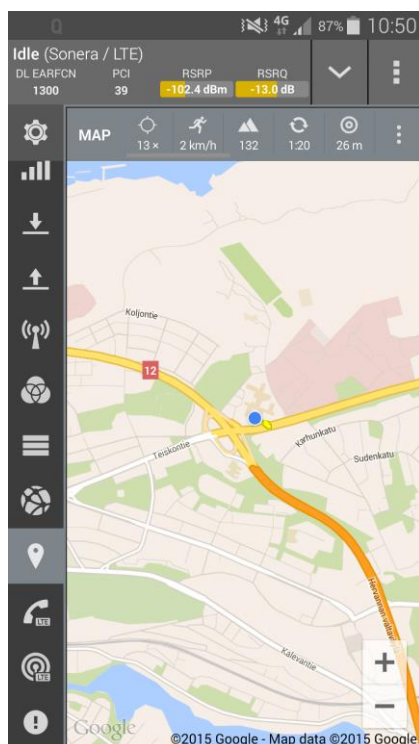


### 4.3.5 Kartat

Kartta-monitoria voidaan käyttää Google Maps- tai OpenStreet-kartoilla. Kartta-asetuksista valitaan Map Engine-valikosta joko Google tai OpenStreet. Satelliittitila on vain Googlen kartoissa käytössä ja offline-kartat ovat vain OpenStreet-kartoissa.

Karttaa voidaan käyttää myös sisätiloissa valitsemalla kuvatiedosto, joko JPEG- tai PNG-formaatissa, jota käytetään pohjapiirustuksena sisätilanavigoinnissa. QualiPoc linkittää merkityn sijainnin, jolloin voidaan luoda yksinkertainen reitti. Oletuksena sisätilanavigoinnin sijainnin väri kuvaa signaalin voimakkuutta.

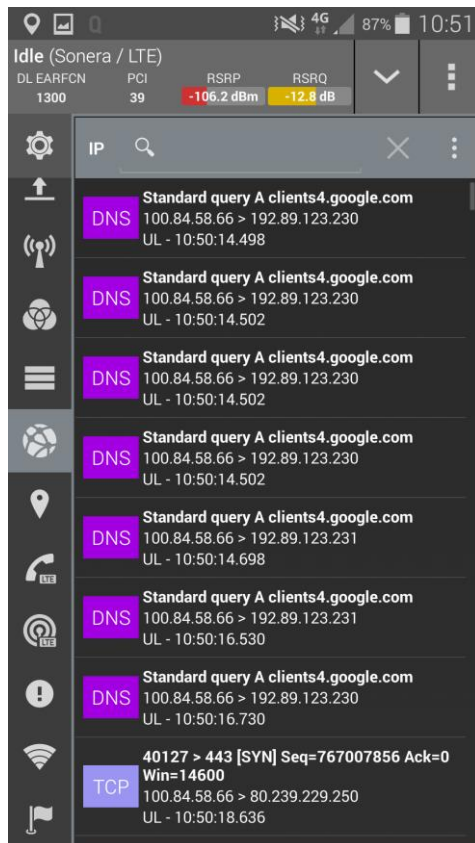
Ulkotilakartta-monitorissa voidaan seurata mittausreittiä testien aikana. Ajotestissä monitori näyttää kartalla nykyisen sijainnin, reitin ja vastaanotetun signaalin voimakkuuden, jota jäljitetään testin aikana. Monitorilla voidaan näyttää tukiasemat ja myös tukiasema, johon laite on yhteydessä. Jotta tukiasemat saadaan näkymään kartalla, käyttäjän täytyy ladata laitteeseen tukiasema (BTS) tiedosto.



Kuva 12. Kartta-monitori

### 4.3.6 IP-monitori

IP-monitori esittää otsikkotietoja HTTP, FTP, TCP, DNS ja ICMP-paketeista. Monitorin asetuksista voidaan poistaa haluttuja protokollia listasta. Monitorin tekstin suodattimella voidaan määrittää, mitä näytössä nähdään.



Kuva 13. IP-monitori

### 4.3.7 Testit ja tapahtumat

Testit ja tapahtumat-monitori esittää testien tulokset KPI (Key Performance Indicator) muodossa. KPI on testiriippuvainen eli eri testien tulokset esiintyvät eri muodoissa. Tilastot esittävät onnistuneiden testien määrän ja myös keskimääräisen, pienimmän ja suurimman KPI-tuloksen. Tapahtuma-monitori luettelee kaikki tärkeimmät tapahtumat, joita QualiPoc jäljittää testien aikana.

## 4.4 4G-verkon mittaukset

QualiPoc Android-älypuhelimella suoritettiin 4G-verkon kuuluvuusmittauksia ja latausnopeusmittauksia Soneran, DNA:n ja Elisan verkoissa. Kuuluvuusmittaukset suoritettiin ajamalla autolla Tampereen ammattikorkeakoululta Muroleen kanavalle. Reitin varrella käytiin Sorilassa ja Kämmenniemessä pienemmillä kaduilla. Latausnopeusmittauksia suoritettiin reitin varrella Sorilassa, Kämmenniemessä ja Terälahdessa. Työssä käsitellään muutama esimerkki kuuluvuus- ja latausmittauksista reitin varrelta.

### 4.4.1 Mittausparametrit

Tässä osiossa käydään läpi LTE-verkon kuuluvuus- ja latausnopeusmittauksissa esiintyviä parametreja.

- RSRP – on resurssielementtien (RE) keskimääräinen teho, jotka kuljettavat tietyn solun referenssisignaaleja koko kaistanleveydellä.
- RSSI – on vastaanotetun signaalin kokonaisteho kaikista lähteistä (kaikkien resurssielementtien teho). RSSI sisältää myös tehon palvelevasta solusta, viereiseltä kanavalta ja häiriötä.
- RSRQ – on vastaanotetun signaalin laatu. Signaalin laadun mittaus ja laskenta perustuu parametreihin RSRP ja RSSI (kaava 1).
- SINR – on signaalin ja häiriön sekä kohinan suhde (kaava 2). SINR kaavassa P on signaalin teho, I on muiden häiritsevien signaalien teho ja N on kohinatermi.

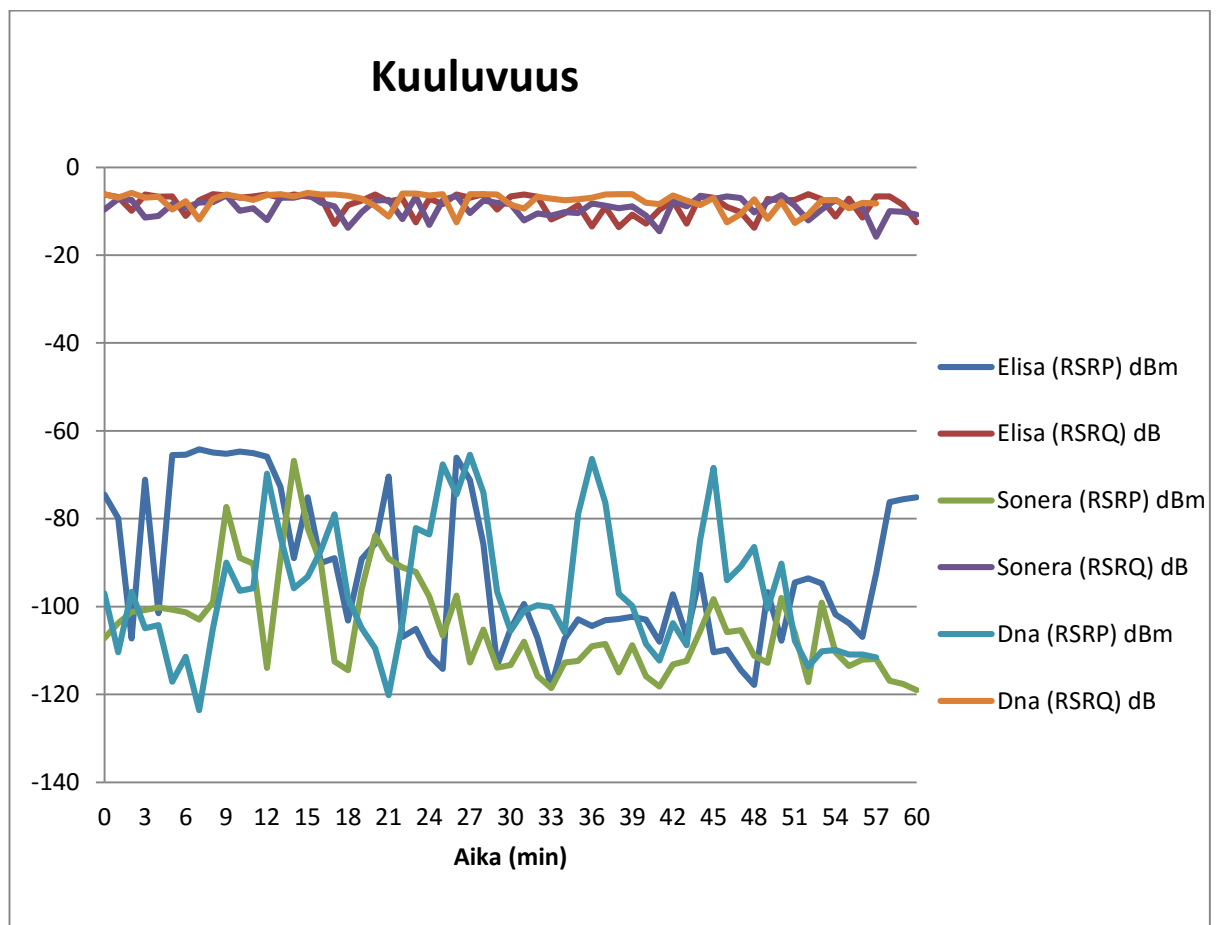
$$RSRQ = N \frac{RSRP}{RSSI} \quad (1)$$

$$SINR = \frac{P}{I + N} \quad (2)$$

#### 4.4.2 Kuuluvuusmittaukset

Kuvaajassa (kuvaaja 1) on Elisan, Soneran ja DNA:n LTE-verkoissa suoritettut kuuluvuusmittaukset. Kuvaajassa mittausdata on kerätty 60 minuutin aikaväliltä, jotta kaikkien operaattorien mittausdata on saatu samalle kuvaajalle muodostettua. Kuvajaan mittausdata on kerätty autolla ajaen Tampereen ammattikorkeakoululta Kämmenniemeen.

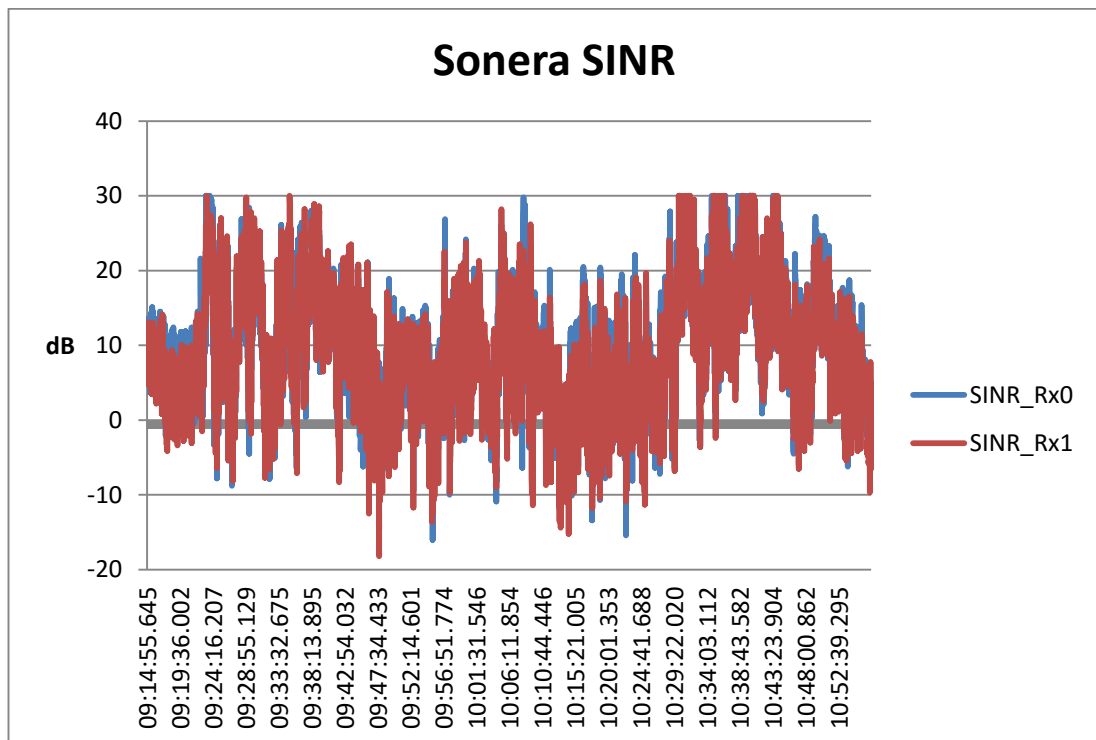
Liitteissä näkyy vielä kaikkein operaattorien kuvaajat koko matkalta. Kuvaajassa nähdään vastaanotetun signaalin voimakkuus (RSRP) ja myös signaalin laatu (RSRQ). Signaalin laatu on hyvä jos  $RSRQ > -12\text{dB}$ . Signaalin laatu vaihteli operaattoreilla Elisa  $-6\text{ dB} - -13,8\text{ dB}$ , Soneralla  $-6,2\text{ dB} - -15,8\text{ dB}$  ja DNA:n verkossa  $-5,8\text{ dB} - -12,7\text{ dB}$ . RSRP raportoidaan alkaen  $-44\text{ dBm}$  ja  $-140\text{ dBm}$  asti. Signaalin voimakkuus on hyvä jos  $RSRP > -104\text{dBm}$  ja tyypillinen vaihteluväli matkaviestinverkoissa on  $-60\text{ dBm} - -120\text{ dBm}$ . Signaalitasojen vaihtelut mittausten aikana olivat Elisalla  $-64,2\text{ dBm} - -118,3\text{ dBm}$ , Soneralla  $-66,8\text{ dBm} - -119\text{ dBm}$  ja DNA:n verkossa  $-65,5\text{ dBm} - -123,6\text{ dBm}$ .



Kuvaaja 1. LTE-verkon kuuluvuus

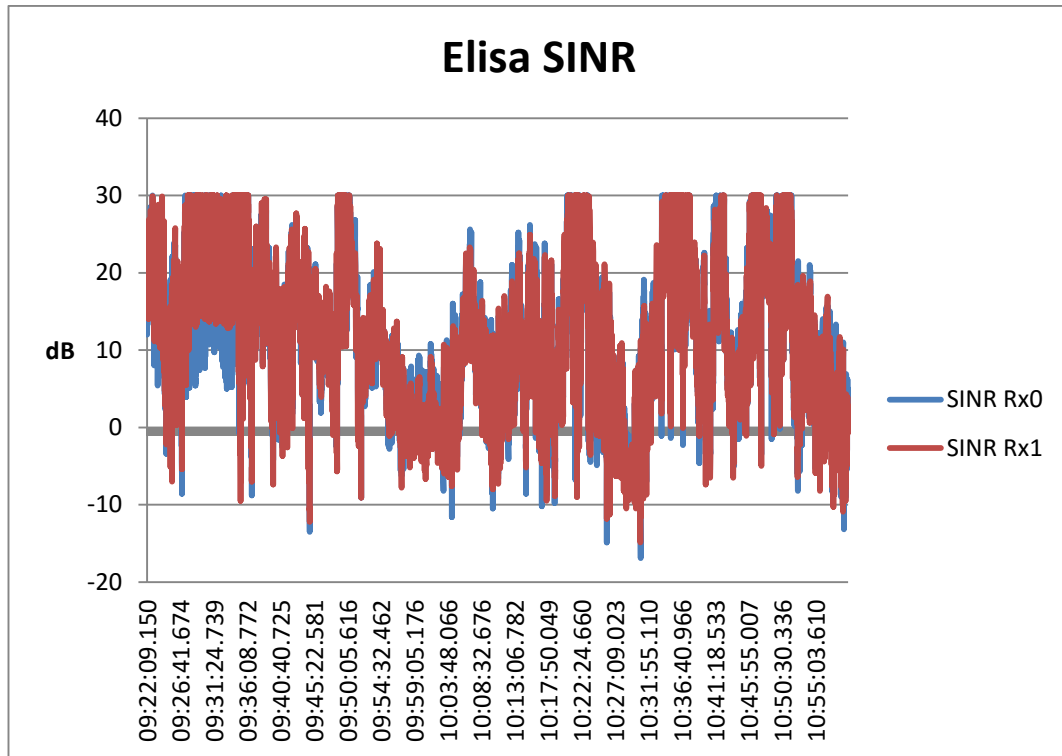
Eri operaattorien verkoista kerätystä datasta muodostettiin myös SINR-kuvaajat. SINR-kuvaajat on muodostettu koko matkalta Tampereen Ammattikorkeakoululta Muroleen kanavalle asti. SINR kuvaa signaalin suhdetta häiriöön ja kohinaan. Mitä suurempi SINR-arvo on niin sitä parempi signaali ja signaalien maksimi arvo mittauksissa oli 30 dB.

SINR > 5dB on hyvä arvo ja SINR < 5dB on huono arvo. Kuvaajasta (kuvaaja 2) nähdään että SINR Rx0 huonoin arvo on -16 dB ja SINR Rx1 huonoin arvo on -18,2 dB.



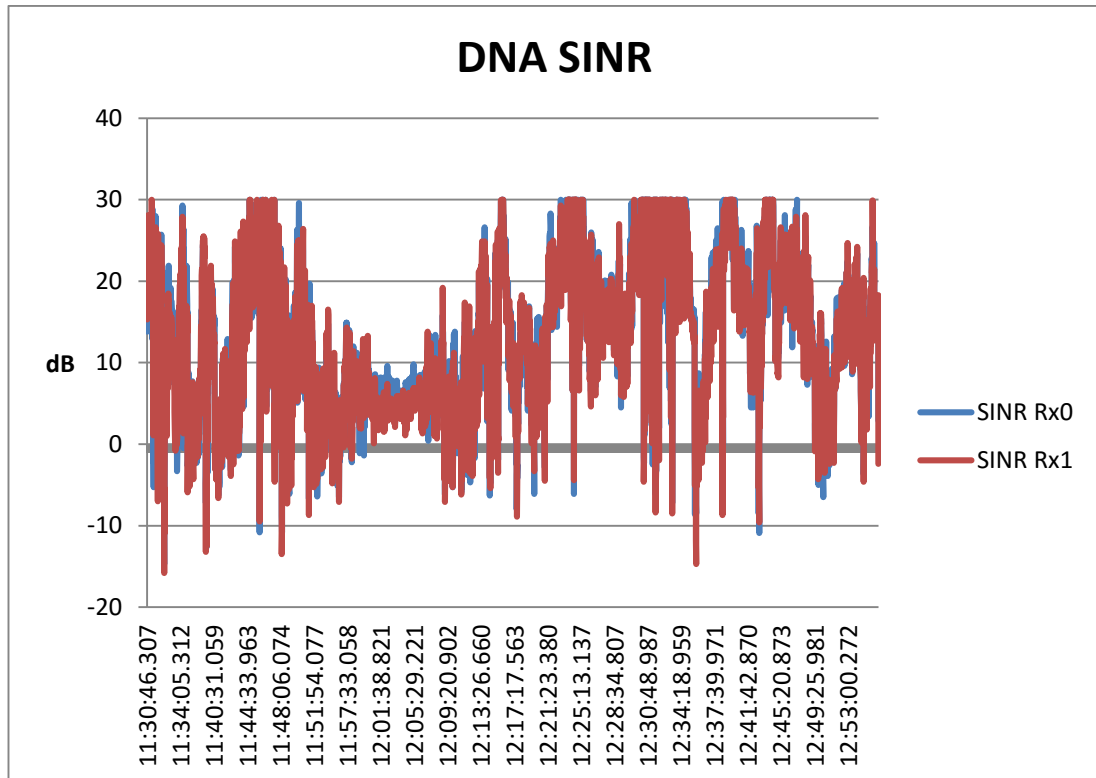
Kuvaaja 2. Sonera SINR

Kuvaajassa (kuvaaja 3) nähdään Elisan verkossa mitattu SINR-arvot. Kuvaajasta nähdään että SINR Rx0 huonoin arvo on -16,9 dB ja SINR Rx1 huonoin arvo on -14,9 dB.



Kuvaaja 3. Elisa SINR

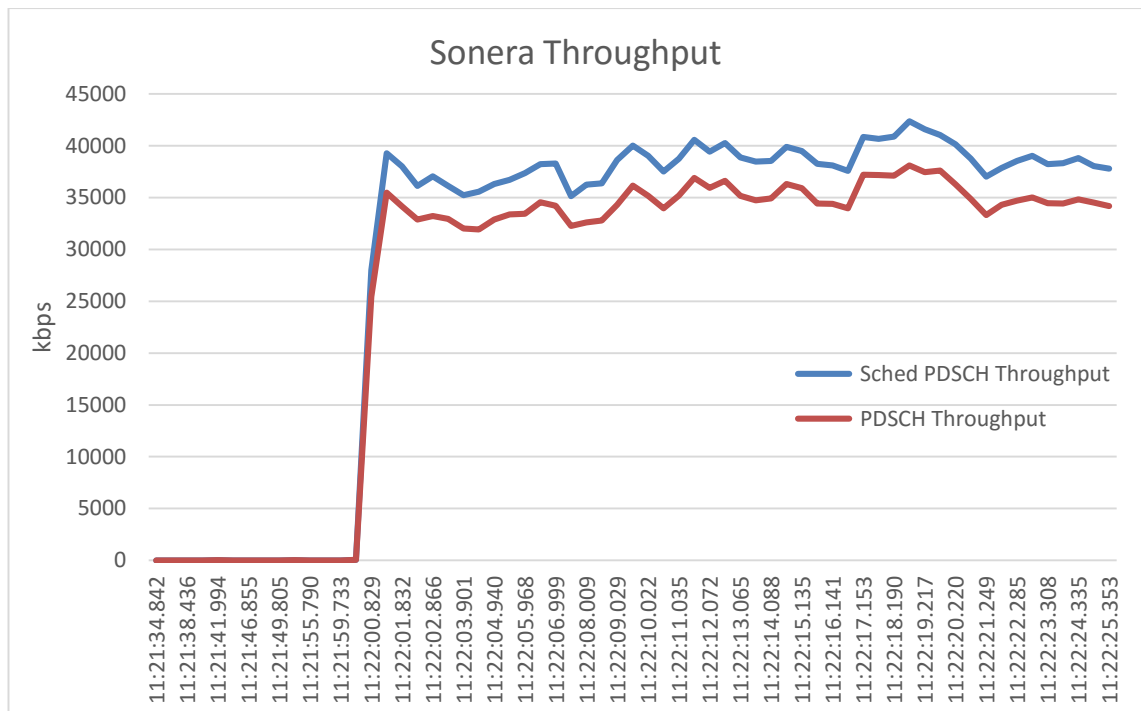
Kuvaajassa (kuvaaja 4) nähdään DNA:n verkossa mitattu SINR-arvot. Kuvaajasta nähdään että SINR Rx0 huonoin arvo on -14,7 dB ja SINR Rx1 huonoin arvo on -15,8 dB.



Kuvaaja 4. DNA SINR

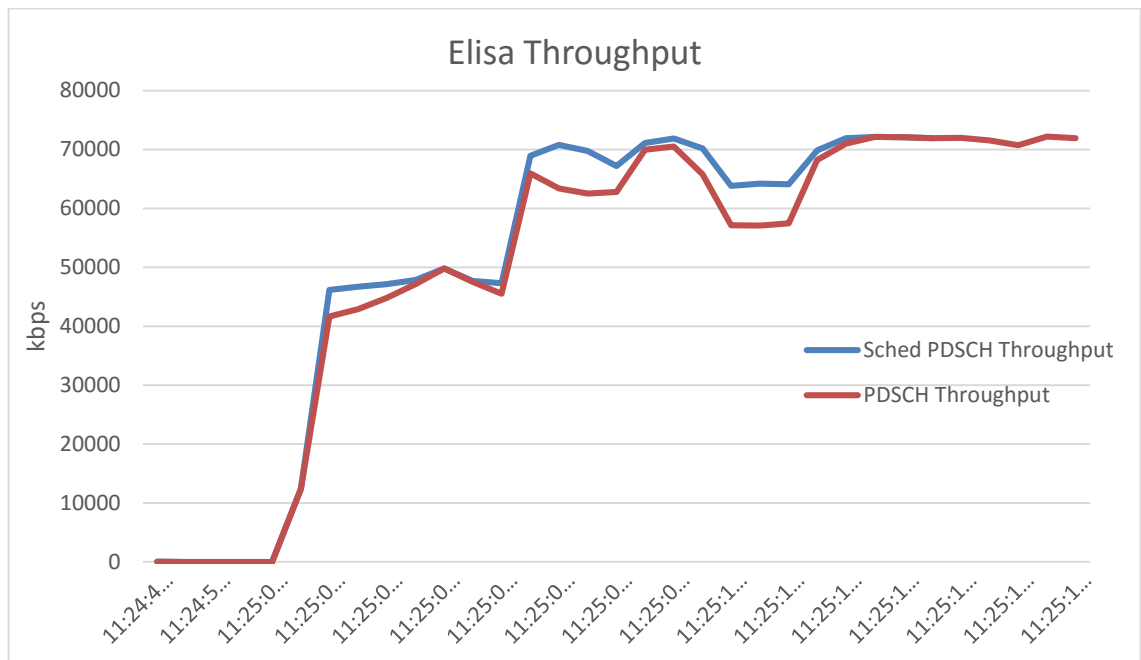
#### 4.4.3 Latausnopeusmittaukset

Latausnopeusmittaukset suoritettiin Terälähden Sale-kaupan pihassa Elisan, Soneran ja DNA:n verkoissa. Mittauksessa ladattiin testitiedosto 100 megatavua, joka ladattiin osoitteesta <ftp://ftp.funet.fi/dev/100Mnull>. Kuvaajassa (kuvaaja 5) nähdään Soneran verkossa suoritettu latausmittaus. Soneran verkossa saatiin maksimi latausnopeudeksi 38,1 Mbps. Latausnopeus vaihteli noin 30 – 40 Mbps välillä.



Kuvaaja 5. Sonera latausnopeus

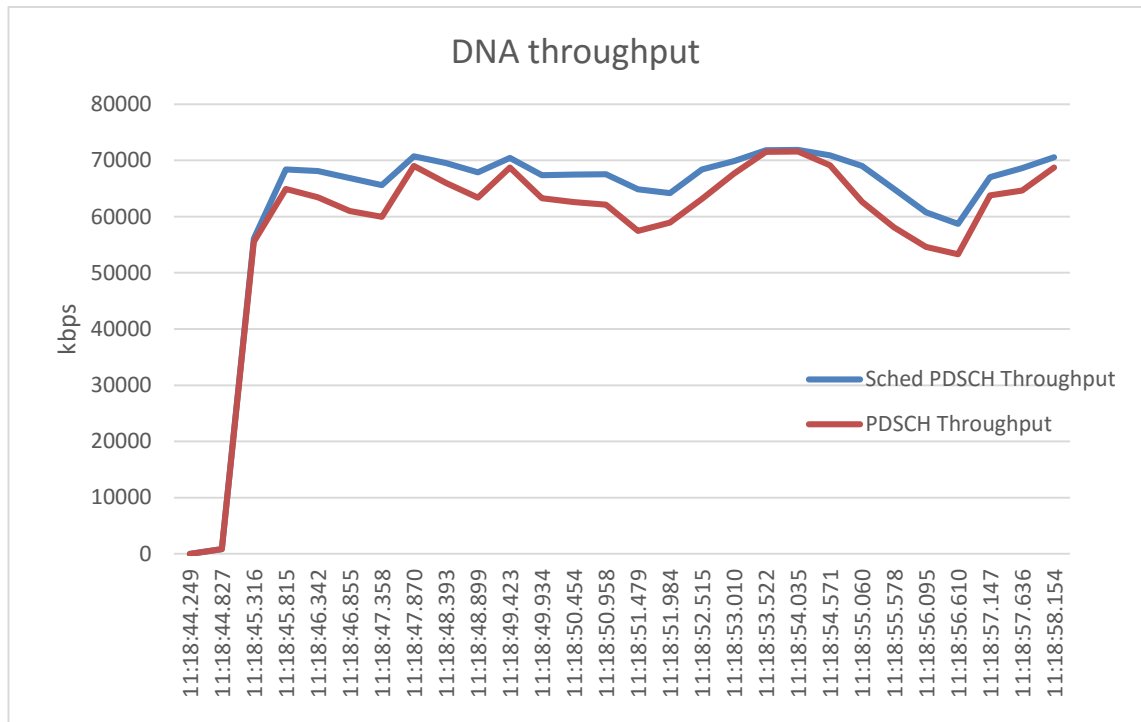
Kuvaajassa (kuvaaja 6) nähdään Elisan verkossa suoritettu latausnopeusmittaus. Maksimi latausnopeudeksi saatiin 72,1 Mbps. Latausnopeus vaihteli noin 40 – 70 Mbps välillä.



Kuvaaja 6. Elisa latausnopeus



Kuvaajassa (kuvaaja 7) nähdään DNA:n verkossa suoritettu latausnopeusmittaus. Maksimi latausnopeudeksi saatiin 71,5 Mbps. Latausnopeus vaihteli noin 60 – 70 Mbps välillä.



Kuvaaja 7. DNA latausnopeus

## 5 POHDINTA

Mobiililaajakaistan yleistymisen ja uusien verkkoon kytkettävien sovellusten ja laitteiden yleistymisen tulee johtaa suurempaan verkon kapasiteetin ja siirtonopeuksien tarpeeseen, jolloin 4G-verkon kapasiteetti ei enää riitä. Koko maan kattavaa 4G-verkkoa ei ole yhdelläkään operaattorilla, mutta 4G-verkot kattavat Suomen suurimmat kaupungit ja niiden väliset tieosuudet. 5G-teknologia on matkapuhelintekniikoiden seuraava kehitysaskel ja tulee vastaamaan jatkuvasti kasvamaan tiedonsiirron määrään. 5G-teknologian täytyy kyetä vastaamaan arviolta 1000-kertaa suurempaan tiedonsiirronmäärään. 5G-teknologian kaupallisen käyttöönoton odotetaan alkavan 2020-vuodesta eteenpäin. Työssä käsitelty 5G-teknologia on vielä kehitysvaiheessa ja työssä pohdittiin 5G-teknologian tulevaisuutta pitkälti Nokian ja Ericssonin näkemysten pohjalta.

QualiPoc Android-mittalaite ja tuloksien analysointiin tarkoitettu Diversity Optimizer-ohjelmiston NQView-käyttöliittymä muodostavat erinomaisen kokonaisuuden 4G-verkkojen mittaukseen. Mittalaitteena toimi Samsung Galaxy S5-älypuhelin, johon ohjelmisto oli asennettu. Laitteen suorituskyky oli hyvä, ja mittauksien aikana ei törmätty minkäänlaisiin ongelmiin laitteen kanssa. Laitteen akku kesti helposti koko mittauspäivän ajan. Ohjelmisto toimi erinomaisesti, ja ohjelmistoa oppi käyttämään kohtalaisen nopeasti. Ohjelmistolla mittausdatan analysointi onnistui hyvin ja vaikka mittausdataa kertyi erittäin paljon, erilaisilla monitoreilla ja valmiilla tai itse muokattaville näkymillä mittausdatan käsittely oli selkeätä.

4G-verkon mittauksista kertyi suuri määrä dataa, josta työssä hyödynnettiin vain osa. Mittausdatasta valittiin osat, joiden perusteella kyettiin luomaan jokaisen operaattorin verkossa suoritetuista mittauksista kattavat kuvaajat ja vertailemaan eri operaattorien tuloksia keskenään. Tampereen ammattikorkeakoulu – Kammenniemi välillä suoritetuista mittauksista nähdään eroja operaattorien signaalien voimakkuudessa (RSRP), signaalin laadussa (RSRQ), sekä signaalin suhteesta häiriöön ja kohinaan. Tulosten perusteella todettiin, että DNA:lla oli paras signaalitaso ja Elisan signaalitasot olivat hyvin lähellä DNA:n tuloksia. Soneran signaalintasot jäivät selvästi alhaisemmaksi. Signaalin laatu oli myös DNA:lla paras. Elisan ja Soneran signaalin laadut olivat lähellä toisiaan, mutta kääntyivät

silti Elisan eduksi. Signaalin suhde kohinaan ja häiriöön (SINR) arvo oli DNA:lla keskiarvolta 13 dB, Elisalla 12 dB ja Soneralla operaattoreista huonoin 9 dB. Vaikka DNA:lla oli kuuluvuusmittauksissa paras signaalivoimakkuus, signaalin laatu ja SINR arvot, mittausdataa kertyi mitattavan reitin aikana huomattavasti vähemmän kuin muilla operaattoreilla. Tästä voidaan päätellä, että DNA:n verkossa esiintyy huomattavasti enemmän katveja kuin Soneralla ja Elisalla.

Latausmittauksissa Elisalla nopeus vaihteli välillä 40 – 70 Mbps ja keskiarvo oli 50 Mbps. Soneralla nopeus vaihteli 30 – 40 Mbps välillä ja keskiarvo oli 28 Mbps. DNA:lla nopeus vaihteli välillä 60 – 70 Mbps ja keskiarvo oli 60 Mbps. Latausmittauksista nähdään, että DNA sai parhaimman tuloksen. DNA:lla oli keskiarvoltaan suurin latausnopeus ja myöskin tasaisin. Elisa pärjasi toiseksi parhaiten, ja latausnopeus oli parhaimmillaan yhtä suuri kuin DNA:lla, mutta nopeudessa oli suuria vaihteluja. Latausnopeuden suuren vaihtelun vuoksi Elisan keskinopeus oli alhaisempi kuin DNA:lla. Sonera pärjasi operaattoreista huonoiten nopeuden ollessa vain keskiarvoltaan 28 Mbps. Soneran latausnopeus oli tasaisempi kuin Elisalla, mutta huomattavasti alhaisempi.

Työ onnistui ihan hyvin, vaikka haasteita tuotti työn laajuus ja 4G-verkon mittauksista kertynyt erittäin suuri määrä mittausdataa. Mittauksissa saatiin tietoa 4G-verkon mitausparametreista ja ominaisuuksista. Työn aikana opittiin käyttämään QualiPoc Android-mittalaitetta ja analysoimaan tuloksia Diversity Optimizer-ohjelmistolla.

Työssä käsiteltiin vain 4G-verkon mittauksia, joten erilaisia mittauksia on mahdollista tehdä laitteella runsaasti. Kehitysehdotuksena Tampereen ammattikorkeakoulu voisi vastavasti mitata 3G-verkkoja tai tehdä audio- sekä videon laatumittauksia.

## LÄHTEET

3GPP. LTE. Luettu 5.9.2015.

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

ITU. ITU towards “IMT for 2020 and beyond”. Luettu 26.10.2015.

<http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

LTE Network Architecture. Luettu 21.9.2015.

[http://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm)

Alcatel Lucent. The LTE Network Architecture. Luettu 21.9.2015

ERICSSON. 5G RADIO ACCES. 2015. Luettu 12.10.2015

Nokia. FutureWorks looking ahead to 5G. Luettu 19.10.2015

ROHDE&SCHWARZ. SwissQual QualiPoc Android. Luettu 2.11.2015.

[https://www.rohde-schwarz.com/en/product/qualipoc\\_android-productstartpage\\_63493-55430.html](https://www.rohde-schwarz.com/en/product/qualipoc_android-productstartpage_63493-55430.html)

SwissQual. QualiPoc Android. Luettu 5.10.2015.

<http://www.swissqual.com/en/products/optimization2/qualipoc-android/>

SwissQual. NQView. Luettu 5.10.2015.

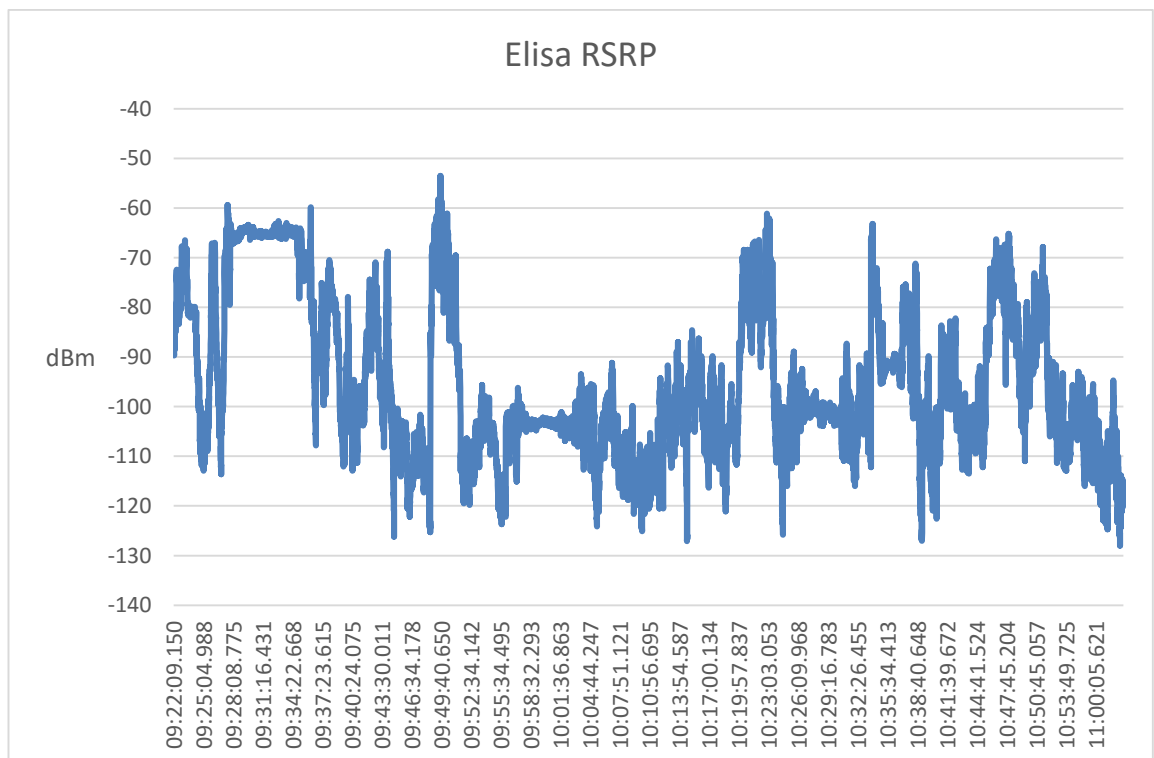
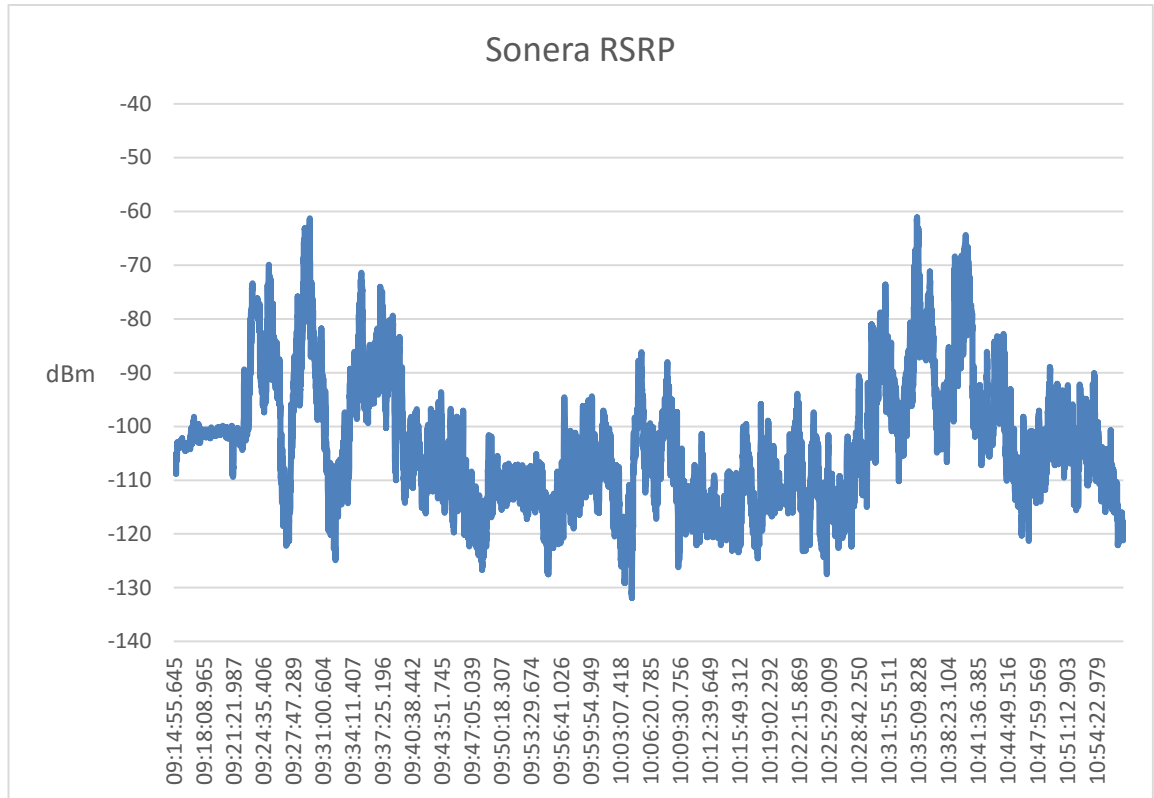
<http://www.swissqual.com/en/products/data-management-analysis-and-reporting-netqual/nqview/>

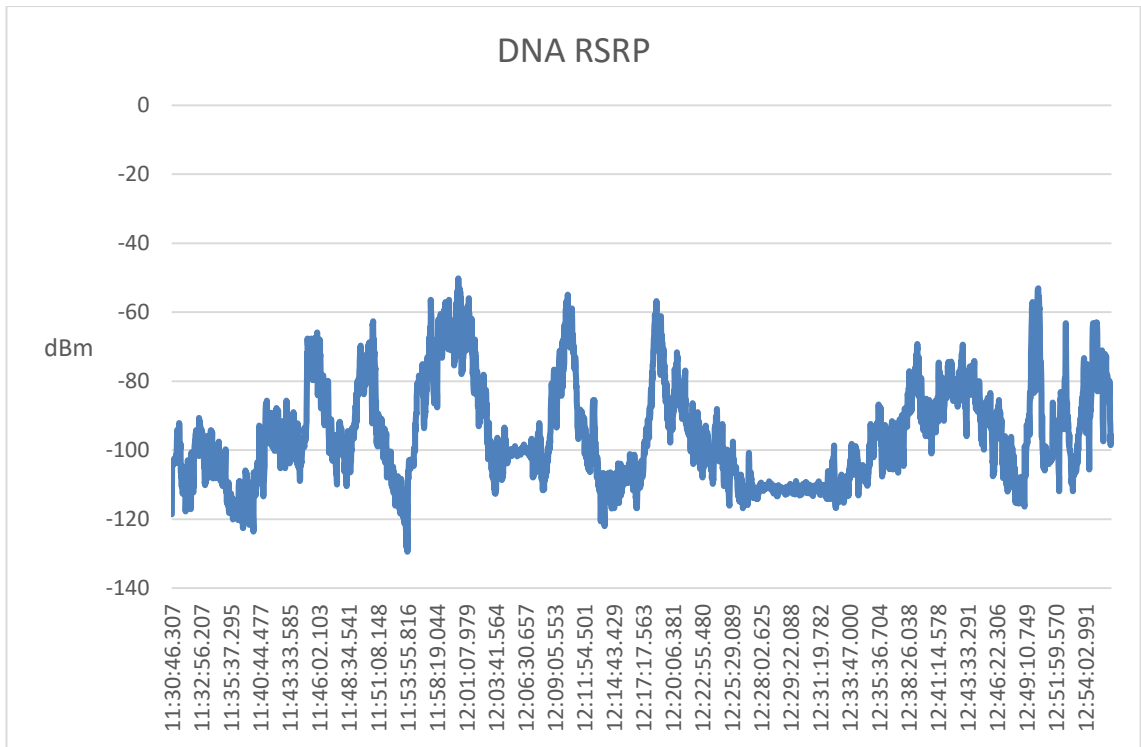
Christopher Cox. 2014. AN INTRODUCTION TO LTE. Toinen painos. Luettu 12.10.2015.

5GPPP. 5G Vision Brochure. Luettu 4.11.2015

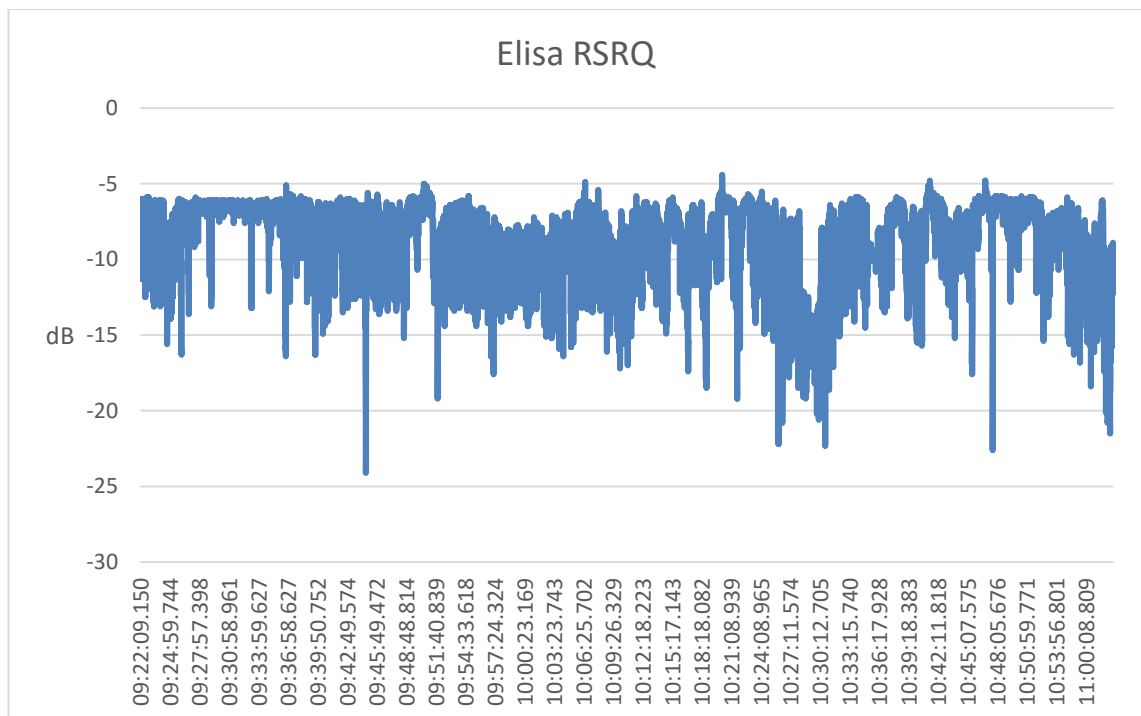
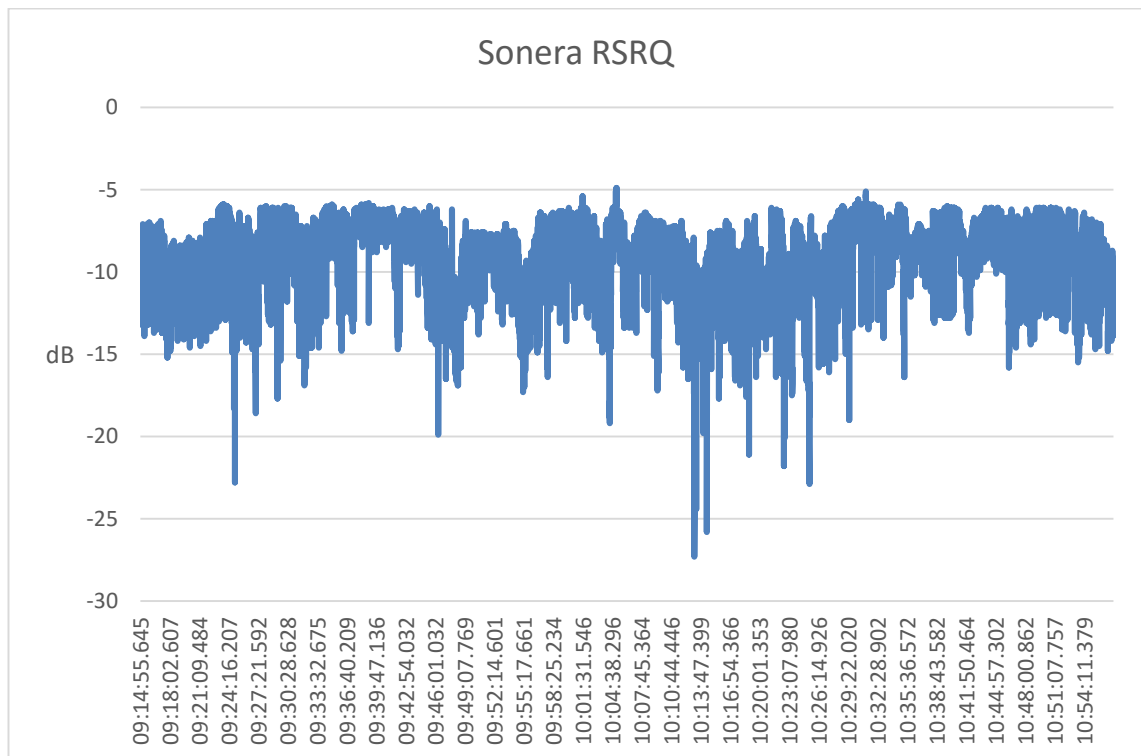
# LIITTEET

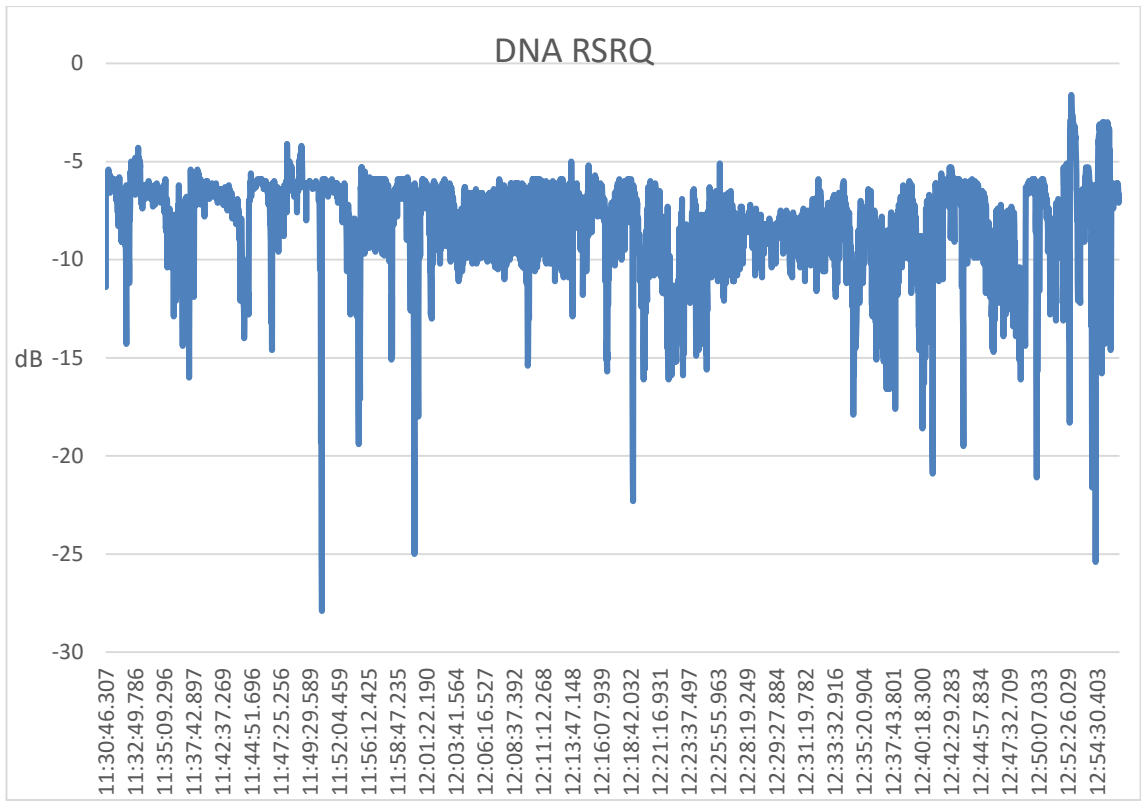
Liite 1. RSRP-kuvaajat TAMK – Murole reitiltä





## Liite 2. RSRQ-kuvaajat TAMK – Murole reitiltä







Liite 3. RSSI-kuvaajat TAMK – Murole reitiltä

