

Opinnäytetyö (AMK)  
Elektroniikan koulutusohjelma  
Radiotekniikka  
2015

Mika Toikka

# MATKAVIESTIMEN LTE- TEKNIIKAN LOPPUTESTAUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektronikka

Kesäkuu 2015 | 36

Timo Tolmunen

Mika Toikka

# MATKAVIESTIMEN LTE-TEKNIIKAN LOPPUTESTAUS

Tässä työssä määriteltiin testausmenetelmä, joka mahdollistaa matkaviestimien lopputestauksen LTE (Long Term Evolution) -tekniikan osalta siihen kykenevissä Microsoftin valtuuttamissa huoltokeskuksissa. Lopputestattavat matkaviestimet on koottu erikseen testatuista fyysisistä moduuleista. Lopputestauksella varmistetaan, että huollettu matkaviestin on toimintakuntoinen ja asiakkaalle luovutettavissa.

LTE on 3GPP:n (3rd Generation Partnership Project) kehittämä standardi, josta yleisesti käytetään myös termiä 4G. LTE tarjoaa nopean yhteyden siirrettävälle datalle matkaviestinverkossa.

Testausmenetelmän määrittelemiseksi selvitettiin huoltokeskusten mahdollisuudet LTE-matkaviestimien testaamiseksi, tuotannon testausmenetelmät LTE-tekniikan verifioimiseksi kokoonpannuista tuotteista sekä 3GPP-standardin vaatimukset LTE-matkaviestimen yhdenmukaisuustestaukselle. Selvityksen perusteella valittiin testausmenetelmällä mitattavat parametrit LTE-tekniikan verifioimiseksi matkaviestimistä. Parametrien raja-arvot määriteltiin 3GPP-standardin sekä testilaittevalmistajien suositusten että testausmenetelmän testauksen perusteella.

Testausmenetelmä testattiin huolletuilla matkaviestinmalleilla todellisessa huoltopaikassa. Mittaustulokset ja niistä muodostetut kaaviokuvat analysoitiin tilastollisin menetelmin. Selvityksen perusteella todettiin, että ilman vastaavaa systemaattista testausta on mahdollista, että asiakkaalle luovutetaan viallinen tuote.

Analysointiin ohjelmoitiin C Sharp (C#) -ohjelmointikielellä Windows-sovellus. Sovellus siirsi testaustulokset tekstimuotoisista tiedostoista taulukkomuotoon Excel-tiedostoon sekä muodosti kaaviokuvat mittaustuloksista Word-tiedostoon.

ASIASANAT:

Matkaviestimen LTE-testaus, LTE-lopputestaus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics

June 2015 | 36

Timo Tolmunen

Mika Toikka

## LTE FINAL TESTING FOR MOBILE DEVICES

The purpose of this thesis was to define the final test method by which the Long Term Evolution (LTE) technology of the repaired mobile devices can be verified in the Microsoft authorized repair service centers that are capable for the repair activities. The repaired mobile devices have been assembled from individually tested modules. The main purpose of the final test is to ensure that a repaired mobile device is operational and to confirm that the device can be given to a customer.

LTE, commonly marketed as 4G LTE, is a standard for wireless network developed by the 3rd Generation Partnership Project (3GPP). The main objective of LTE is to provide a fast and well functioning wireless network.

The definition was started by identifying the possibilities of the service centers to test LTE mobile devices. Next, the test methods of the manufacturing process to verify LTE functionality of assembled products were found out and the measurement procedures of the 3GPP standard for the conformance test of the mobile device were studied. The limit values of the parameters were determined based on the 3GPP standard and the test equipment manufacturers' recommendations as well as based on the verification of the final test method.

The test method was tested with the repaired mobile device models in one service center. The results of the measurements were analyzed using statistical methods. Based on the analysis, it was found that without corresponding systematic testing, it is possible that customer will get a defective product.

Windows application was programmed with C Sharp (C#) programming language for helping to analyze test result data from the plain text files. The data was converted from the text files to an Excel table format by the application. At the end of the data conversion, graphic diagrams were created by the application from each measurement and they were also saved to Word files.

### KEYWORDS:

Mobile device LTE testing, LTE final test, LTE final testing

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 TESTAUSOHJEEN LÄHTÖKOHDAT JA RAJAUKSET</b>	<b>3</b>
2.1 LTE-teknologia	4
2.2 Testausohjeen tavoitteet	5
2.3 FinUI-testaus	6
2.4 FAI-testaus	8
<b>3 LOPPUTESTAUSOHJE</b>	<b>9</b>
3.1 Testauksen kattavuus	9
3.1.1 Maksimilähtöteho	10
3.1.2 Minimilähtöteho	11
3.1.3 Taajuusvirhe	11
3.1.4 Virhevektorin suuruus	11
3.1.5 Kantoaaltovuoto	12
3.1.6 Viiteherkkyystaso	12
3.1.7 Viereiselle kanavalle vuotavan tehon suhde	13
3.2 Testisekvenssin verifiointi	14
3.3 Testausympäristö	16
<b>4 MITTAUSTULOSTEN PROSESSOINTI</b>	<b>18</b>
4.1 Menetelmä	18
4.1.1 Sovelluksen toteutus	18
4.1.2 Sovelluksen toiminta	20
<b>5 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI</b>	<b>25</b>
5.1 Menetelmä	25
5.2 Tulokset	26
5.2.1 Alustavat kaaviot	26
5.2.2 Tilastollinen tarkastelu	27
5.2.3 Havaitut viat	28
5.3 Testaustulosten yhteenveto	31

<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>33</b>
---------------------	-----------

<b>LÄHTEET</b>	<b>35</b>
----------------	-----------

## **KUVAT**

Kuva 1. Tuotannon FinUI-testauksessa havaitut viat LTE-toiminnallisuudessa. ....	7
Kuva 2. QPSK [12] ja EVM [13]. ....	12
Kuva 3. ACLR-mittausalueen sijoittuminen kanavalla [8]. ....	13
Kuva 4. Testisekvenssin määrittelyssä käytettävä laitteisto. ....	17
Kuva 5. UML-sijoittelukaavio testauksessa käytettävistä laitteistoista. ....	17
Kuva 6. LTE Data Processing Application -sovelluksen käyttöliittymä. ....	19
Kuva 7. LTE Data Processing Application -sovelluksen tilakonekaavio. ....	21
Kuva 8. LTE Data Processing Application -sovelluksen toimintakaavio. ....	22
Kuva 9. Poiminto CMWrun-sovelluksen [23] tuottamasta syöttötiedostosta. ....	23
Kuva 10. Poiminto LTE Data Processing Application -sovelluksen luomasta Excel-tiedostosta, josta on nähtävissä syöttötiedoston testaustuloksia. ....	23
Kuva 11. Histogrammi maksimilähtötehon mittauksista (Maximum Output Power) taajuuskaistan 3 alakanavalta. ....	24
Kuva 12. Hajontakuviokuva maksimilähtötehon mittauksista (Maximum Output Power) taajuuskaistan 3 alakanavalta. ....	24
Kuva 13. Testaustuloksista luotu histogrammi- ja hajontakaavio. ....	26
Kuva 14. Testaustulosten prosentuaalinen jakauma, matkaviestinmallien lukumäärät ja testaustulokset. ....	29
Kuva 15. Hajontakuviokuva esimerkki tilastollisen kontrollirajan ylittävistä mittauksista. ....	30

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Lopputestausohjeisiin [21] määritelty testisekvenssi. ....	15
Taulukko 2. Lopputestausohjeisiin [21] määritetyt lähettimen testaukseen liittyvät vaatimukset. ....	15
Taulukko 3. Lopputestausohjeisiin [21] määritetyt testattavat kaistat ja niitä vastaavat kanavat sekä kanavataajuudet. ....	16
Taulukko 4. Odotetut poikkeamat ja suoritusindeksit matkaviestinmallin A mittaustuloksista. ....	27
Taulukko 5. Odotetut poikkeamat matkaviestinmallin C mittaustuloksista. ....	28
Taulukko 6. Odotetut poikkeamat matkaviestinmallin D mittaustuloksista. ....	28
Taulukko 7. Yhteenvetokaavioiden numeeriset tiedot. ....	29
Taulukko 8. Matkaviestimien mittausten perusteella todetut viat. ....	30

## KÄYTETYT LYHENTEET

3G	kolmannen sukupolven matkaviestintekniikka, jonka avulla voidaan siirtää nopeasti suuria määriä puhetta ja tietoa
3GPP	ryhmittymä, joka määrittelee kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmää (Third Generation Project Participants)
4G	neljännen sukupolven matkaviestintekniikka, jonka avulla voidaan siirtää erittäin nopeasti suuria määriä puhetta ja tietoa
ACLR	viereiselle kanavalle vuotavan tehon suhde (Adjacent Channel Leakage Ratio)
BW	kaistanleveys (bandwidth)
C#	Microsoftin kehittämä olio-orientoitunut ja tyyppiturvallinen ohjelmointikieli, joka käyttää hyväkseen .NET Framework-ohjelmistokomponenttikirjastoa
DC	tasavirta (direct current)
EMC	sähkömagneettinen yhteensopivuus (Electromagnetic compatibility)
E-UTRA	LTE-radorajapinta (Evolved Universal Terrestrial Radio Access)
EUTRAN	kehittynyt WCDMA:n radioverkko (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network)
EVM	virhevektorin suuruus (Error Vector Magnitude)
FDD	taajuusjakoinen dupleksi, jossa lähetys- ja vastaanottokanavat käyttävät eritaajuista kantoaaltoa (Frequency Division Duplex)
GSM	toisen sukupolven maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä (Global System for Mobile Communications)
LTE	neljännen sukupolven matkaviestintekniikka, josta käytetään yleisesti myös termiä 4G (Long Term Evolution)
MIMO	moniantennilähetys- ja vastaanottotekniikka, jolla voidaan nopeuttaa langatonta tiedonsiirtoa (Multiple Input Multiple Output)
NS	verkkosignaaliarvo (Network Signaling Value)
OFDMA	ortogonaalinen taajuusjakoinen modulaatiotekniikka (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
Ppk	kokonaisuorituskykyindeksi (Process Performance Index)

ppm	lyhenne ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin (parts per million)
QPSK	kvadratuurivaihemodulaatio (Quadrature Phase Shift Keying)
RB	resurssilohko (Resource Block) on LTE-tekniikassa pienin lähetettävä elementti
RF	radiotaajuus (Radio Frequency)
RFI	radiotaajuushäiriö (Radio Frequency Interference)
RSSI	vastaanotetun signaalin voimakkuuden osoitin (Received Signal Strength Indication)
Rx	vastaanotin
SC-FDMA	yhtä kantoaaltoa käyttävä taajuusjakoinen modulaatiotekniikka (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)
SNR	signaali-kohinasuhde (Signal-to-Noise Ratio)
TDD	aikajakoinen duplexi, jossa eri signaalit siirretään ajallisesti lomitettuina samassa siirtokanavassa (Time Division Duplex)
Tx	lähetin
UML	Object Management Group (OMG) -konsortion standardisoima graafinen mallinnuskieli (Unified Modeling Language)
UMTS	kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmä (Universal Mobile Telecommunications System)
UTRAN	UMTS-järjestelmän radioliityntäverkko (Universal Terrestrial Radio Access Network)
WCDMA	laajakaistainen koodijakoinen moniliittymäteknikka (Wideband Code Division Multiple Access)

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on määritellä yhdenmukainen menetelmä, joka mahdollistaa Microsoftin matkaviestimien lopputestauksen LTE (Long Term Evolution) -tekniikan osalta siihen kykenevissä Microsoftin valtuuttamissa huoltopaikoissa. LTE on 3GPP:n (3rd Generation Partnership Project) standardoima neljännen sukupolven matkaviestintekniikka, joka esitettiin ensimmäisen kerran 3GPP Release 8:ssa vuonna 2008 [20]. LTE tarjoaa nopean yhteyden siirrettävälle datalle matkaviestinverkossa pakettikytkentäisellä tiedonsiirtomenetelmällä [20].

Lopputestauksen piirissä olevat matkaviestimet on koottu erikseen testatuista fyysisistä moduuleista. Lopputestauksen pääpaino on varmistaa erityisesti eri moduulien ja liitäntöjen saumatonta toimivuutta koko tuotteen tasolla. GSM (Global System for Mobile Communications) ja WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) -tekniikoiden testaamiseksi huoltopaikoissa oli loppu-testausohjeet määritelty. LTE-matkaviestimien yleistyessä on huolletun laitteen laadunvarmistus olennaista hyväksytyllä testausmenetelmällä myös LTE-tekniikan osalta.

Työssä selvitetään, mitä mahdollisuuksia ja rajoituksia huoltokeskuksilla on testata LTE-tekniikka ja miten tuotannossa LTE testataan kokoonpannuista tuotteista. Tämän jälkeen selvitetään, mitä LTE-mittauksia 3GPP:n standardissa on määritelty matkaviestimen LTE-tekniikan testaamiseksi ja mitä raja-arvoja testauslaitteiden valmistajat suosittelevat mittauksille. Selvityksen perusteella määritellään yhdenmukainen testisekvenssi, tarvittavat laitteistot sekä testausohjeet LTE-tekniikan testaamiseksi matkaviestimestä.

Testisekvenssin testaukseen määritellään testijono, joka mahdollistaa testauksen automatisoinnin PC-sovelluksella. Testisekvenssi testataan ja mittausten raja-arvojen järkevyyden tarkistetaan eri matkaviestinmalleilla, joista tässä opinnäytteessä käytetään nimiä: A, B, C, D, E, F ja G.



Testisekvenssi testattiin todellisessa huoltopaikassa, josta saadut mittaustulokset muutettiin helpommin analysoitavaan muotoon käyttäen tässä työssä C Sharp (C#) -ohjelmointikielellä luotua sovellusta. Analysoinnin tuloksia voidaan käyttää päätettäessä testausmenetelmän käyttöönottamisesta.

## 2 TESTAUSOHJEEN LÄHTÖKOHDAT JA RAJAUKSET

Ensimmäiset Lumia LTE -matkaviestimet tulivat markkinoille ensimmäisellä vuosineljänneksellä v. 2012. GSA (Global mobile Suppliers Association) -järjestön mukaan LTE-matkaviestimien määrä kasvaa huomattavassa määrin nopeammin kuin minkään muun matkaviestintäjärjestelmän [1]. LTE-matkaviestimien vuotuisen kasvu oli 140 % vuonna 2014 [1]. Saman suuntaisia arvioita on tehnyt myös CCS Insight -tutkimusyhtiö [2].

Uusimmissa Lumia-matkaviestimissä LTE on jo itsestään selvyys. Microsoftin [5] mukaan matkaviestimien korjaus on kannattavampaa kuin laitteen korvaaminen uudella tuotteella. Korjatun matkaviestimen laadun varmistamiseksi oli huoltopaikoille lopputestausohjeet määritelty, mutta ne eivät kattaneet LTE-tekniikan testausta. Ohjeissa oli kaksi eri menettelytapaa RF-suorituskyvyn testaamiseksi GSM- ja WCDMA-tekniikasta: signaloititestaus (signaling testing) ja signaloimaton testaus (non-signaling testing).

Signaloimaton testaus on mahdollista matkaviestimille, mikäli PC:n huolto-ohjelmisto (Service Software), RF-testeri ja matkaviestin sen mahdollistavat. Signaloimattomassa testauksessa RF-suorituskyky testataan huolto-ohjelmistolähtöisesti matkaviestimen USB-yhteyden kautta käyttäen piirivalmistajan tarjoamaa ajurirajainta (Chipset API) RF-ohjauksiin. Signaloimattomalla testauksella saavutetaan suurempi testausnopeus signaloititestaukseen verrattuna. Ero johtuu lähinnä siitä, että signaloituyhteyttä ei tarvitse muodostaa matkaviestimen ja RF-testerin välille. Nopeuserolla on merkitystä tuotannossa, mutta ei juurikaan huoltopaikoissa. Signaloititestaus vastaa matkaviestimen normaalia toimintaa eikä ole riippuvainen piirivalmistajista. Tukiaseman ja matkaviestimen välistä ilmaraajaintaprotokolla (over-the-air protocol) yhteyttä emuloidaan käyttäen siihen kykenevää RF-testeriä.

LTE-lopputestausmenetelmän kehityksen aikana saatavissa ei ollut signaloimattomaan testaukseen kykenevää teknologiaa kohteena oleville matkaviestinmallille, joten signaloimaton testaus ei ollut vaihtoehto.

Manuaalista LTE-tekniikan testausta ilman lisälaitteita oli esitetty harkittavaksi testausmenetelmäksi. Käytännössä se olisi tarkoittanut matkaviestimen käyttäjäliitännän avulla todettua LTE-tiedonsiirtoa matkaviestimen kuuluvuusalueella. Testaustulokseen vaikuttaisi myös se, millä taajuuskananavalla matkaviestin testauksen aikana operoi testauspaikassa. Manuaalinen testausmenetelmä hylättiin siitä syystä, että se oli epäluotettava.

Lopputestausmenetelmä suunniteltiin tapahtuvaksi signaalointitestauksella, joka tarkoittaisi kuitenkin huoltopaikoille LTE-testauslaitteisto-, ohjelmisto- ja lisenssikustannuksia. Lopputestausohjeet rajattiin koskemaan LTE-tekniikassa käytettävää FDD-dupleksointia (Frequency Division Duplex), koska yrityksen tuotevalikoimassa ei ollut TDD-dupleksointiin (Time Division Duplex) kykeneviä LTE-matkaviestimiä.

## 2.1 LTE-teknologia

LTE on 3GPP:n (3rd Generation Partnership Project) kehittämä standardi, josta yleisesti käytetään myös termiä 4G. LTE tarjoaa nopean yhteyden siirrettävälle datalle matkaviestinverkossa.

LTE-tekniikassa radioliikenne tukiasemasta päätelaitteeseen on toteutettu erilaisella radiotekniikalla kuin radioliikenne päätelaitteesta tukiasemaan. Tukiasemasta matkaviestimeen (laskeva siirtotie) on käytössä OFDMA-tekniikka (Orthogonal frequency-division multiple access) ja SC-FDMA-tekniikka (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) käytetään matkaviestimestä tukiasemaan (nouseva siirtotie) suuntautuvassa tiedonsiirrossa. OFDMA tarjoaa moniliitymän (multiple access) samanaikaisesti moneen käyttäjään. [3]

Tiedonsiirtonopeuden kasvattamiseksi käytetään moniantennitekniikkaa, josta käytetään yleisesti nimeä MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO-tekniikalla datavirtaa voidaan lähettää ja vastaanottaa yhtä aikaa useilla antenneilla ilman että on tarvetta kasvattaa kaistanleveyttä ja lähetystehoa. [3]

Moniantennitekniikka lisää myös kaistan tehokkuutta (spectral efficiency) sekä parantaa siirtoyhteyden luotettavuutta. LTE-tekniikassa voidaan käyttää eri MIMO-konfiguraatioita riippuen kanavien ja matkaviestimen ominaisuuksista sekä tiedonsiirtonopeuden vaatimuksista. Konfiguraatio ilmaisee lähetys- ja vastaanottoantennien lukumäärän. Esimerkiksi konfiguraatioissa  $2 \times 2$  on kaksi lähettävää antennia tukiasemassa ja kaksi vastaanottavaa antennia matkaviestimessä. LTE tukee myös kokoonpanoja  $4 \times 2$  ja  $4 \times 4$ . [3]

## 2.2 Testausohjeen tavoitteet

Matkaviestimen huoltoprosessissa asiakaspalautuksina vastaanotetut matkaviestimet tarkastetaan ja vialliset moduulit joko korjataan tai vaihdetaan toimiviksi testattuihin huoltokorjauksiin kykenevissä huoltopaikoissa. Korjauskelpoiseksi todetut moduulit kunnostetaan ja testataan ennen tuotteen kokoonpanoa. Moduulilla tarkoitetaan matkaviestimen fyysistä osakokonaisuutta. Moduulit on jaoteltu rakenneseisiin kuten optoelektroniset komponentit, elektromekaaniset komponentit, radiomoduliin kuuluva ja mekaaniset osat [4].

Radiomodulin korjaus ei huoltopaikoissa ollut sallittu huolto-ohjeen mukaan [4]. Radion toimintaan vaikuttaa radiomodulin lisäksi miten huoltopaikoissa tuotteen kokoonpano on onnistunut komponenteista, kuten radiomoduli ja sen virransyöttökomponentit, maadoitusjouset, antennit ja antenniin liittyvä koaksiaalikaapeli sekä liittimet. Tuotteeseen kokoonpanossa asennetuilla EMC- ja RFI-suojauksilla on myös vaikutusta radion toimivuuteen. Kosteudesta aiheutuvat ongelmat eliminoidaan korjausprosessissa hoiduttamalla mahdollinen kosteus kosteuserkistä moduuleista lämpöuuneissa. Huolto-ohjeiden mukaan mm. radiotaajuusvahvistin on herkkä kosteudelle [4].

Lopputestauksen tavoitteeksi sovittiin suunnitelmallisesti varmistaa eri moduulien ja liitäntöjen toimivuus LTE-tekniikan osalta. Lopputestauksen tavoitteet todettiin parhaiten saavutettaviksi LTE-tekniikan fyysisen kerroksen mittauksilla. [5]

Yrityksen tuotannossa käytettävät testausmenetelmät LTE-tekniikan testaamiseksi kokoonpannuista tuotteista päätettiin selvittää [5], koska huoltojen yhteydessä tapahtuvan lopputestauksen tarkoitus vastasi tuotannossa käytettäviä testausvaatimuksia, joiden tarkoituksena on löytää tuotteen kokoonpanossa tapahtuvat koonti- ja materiaalivirheet. Tuotannossa kokoonpannut tuotteet testataan FinUI- ja FAI-testauksessa.

### 2.3 FinUI-testaus

FinUI-testauksessa matkaviestin on koottuna ilman akkua ja kuoria. FinUI-testauslaite kytketään matkaviestimeen adapterilla, joka mahdollistaa kytkeytymisen suoraan piirille. FinUI-testauksessa testaus tehdään ilman ilmarajapintaa matkaviestimen toimiessa testitilassa. Tämä mahdollistaa testien suorittamisen tehokkaasti, mutta testaus ei vastaa signaloinnin osalta todellista matkaviestimen käyttötilannetta, mm. antennin toimivuutta ei signaloimattomalla testauksella voida todeta.

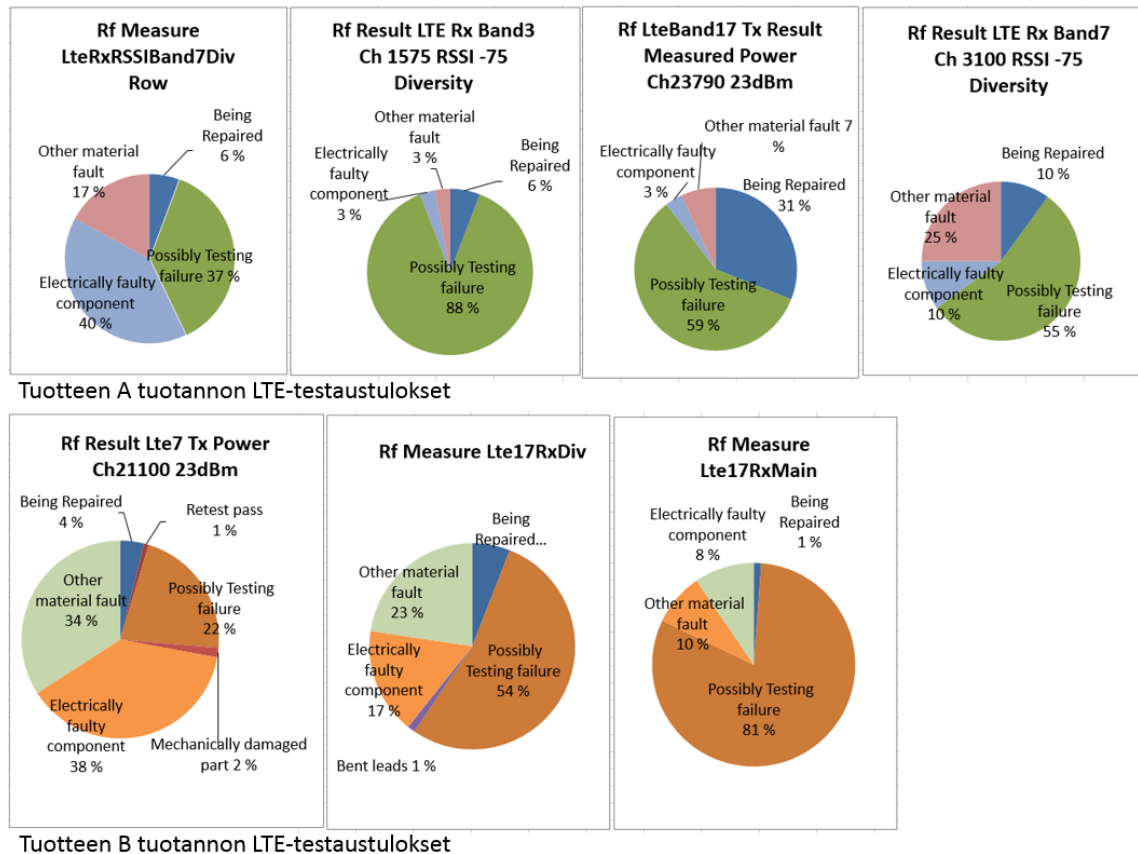
FinUI-testauksessa matkaviestimen LTE-lähetintä ja -vastaanotinta testataan taajuuskaistojen ala-, keski- ja yläkanavilla. Testitapaukset käsittävät matkaviestimen maksimilähetystehon testejä, vastaanotetun signaalitehon testejä ja diversiteettitestejä.

Signaalitehon mittaamisen yhteydessä käytetään RSSI-arvoa (received signal strength indicator), joka mittaa kohinan ja muiden signaalien häiriöiden vaikutusta koko kaistanleveydeltä [6].

LTE-matkaviestimissä diversiteetti liittyy MIMO-moniantennitekniikkaan, jossa sekä vastaanottavia että lähetäviä antenneja on useampia. MIMO-tekniikka mahdollistaa tehokkaamman tiedonsiirron tukiaseman ja matkaviestimen välille. Sitä käytetään myös parantamaan tiedonsiirron luotettavuutta. Vastaanottodiversiteetti (Receive Diversity, Rx Diversity) parantaa vastaanotettavan signaalin signaalikohinasuhdetta (SNR) yhdistämällä monta itsenäistä kopiota samasta sig-

naalista. Diversiteetti ei kasvata tiedonsiirtonopeutta, mutta se laajentaa tukiaseman peittoaluetta ja samalla se vähentää niin kutsuttua häipymämarginiaalia, jota tarvitaan luotettavan yhteyslinkin saavuttamisessa. [7]

FinUI-testaustuloksia kerättiin kahdesta tuotteesta kolmen viikon ajalta, mistä LTE-testeissä havaitut viat LTE-toiminnallisuudessa on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tuotannon FinUI-testauksessa havaitut viat LTE-toiminnallisuudessa.

Kuvasta 1 voidaan havaita, että tuotannon testeissä on todettu mm. sähköisesti viallisia komponentteja (Electrically faulty component), materiaalivikoja (Other material fault), mekaanisesti vaurioituneita osia (Mechanically damaged part) ja vioittuneita komponenttijalkoja (Bent leads), mitkä ovat aiheuttaneet virhetoiminnon LTE-tekniikassa.

## 2.4 FAI-testaus

FAI-testauksella verifioidaan, että tuotantolinjalta valmistettu tuote täyttää sille asetetut toiminnalliset ja laadulliset vaatimukset. FAI-testaus tehdään satunnaisesti tuotantoerille. FAI-testaus käsittää myös radorajapinnan testauksen, mikä vastaa matkaviestimen normaalia toimintaa. FAI-testauksessa verifioidaan matkaviestimen LTE-lähettimen ja -vastaanottimen suorituskykyä mittausmenetelmin. Käytössä ovat spesifikaatioon [8] sisältyviä yhdenmukaisuustestejä (Conformance Testing) mittausparametreilla:

- maksimilähtöteho (Maximum Output Power)
- minimilähtöteho (Minimum Output Power)
- suljettu lähetysteho (Transmit Off Power)
- taajuusvirhe (Frequency Error)
- virhevektorin suuruus (Error Vector Magnitude)
- kantaaltovuoto (Carrier Leakage)
- vertailuherkkyystaso (Reference Sensitivity Level)
- viereiselle kanavalle vuotavan tehon suhde (Adjacent Channel Leakage Power Ratio).

FAI-testaukselle asetettujen LTE-testausvaatimusten [9] mukaan testauksessa käytetään kaistanleveyttä (BW) 10 MHz ja kvadratuurivaihemodulaatiota (QPSK). Testaus kattaa taajuuskaistojen ala-, keski- ja yläkanavat.

Mittausparametrien testausvaatimukset noudattavat spesifikaatiossa [8] esitettyjä yhdenmukaisuusvaatimuksia (conformance requirements).

## 3 LOPPUTESTAUSOHJE

Lopputestausohjeiden määrittelemistä varten selvitettiin mm. testauksen kattavuus ja tavoitteet, testattavat toiminnot, testausympäristö ja lopputestausohjeiden verifiointi.

### 3.1 Testauksen kattavuus

Lopputestauksella on tarkoitus varmistaa, että huollettu matkaviestin on toiminnaltaan kunnossa ja on asiakkaalle luovutettavissa. Lopputestauksen pääpaino on erityisesti varmistaa eri moduulien ja liitäntöjen saumaton toimivuus koko tuotteen tasolla. Lopputestaukseen valittiin tuotannon FinUI- ja FAI-testauksesta sellaiset LTE-testit, jotka olivat mahdollisia käytössä olevilla resursseilla ja vastaavan tyyppisillä laitteistoilla kuin millä GSM- ja WCDMA-tekniikoiden lopputestaus tapahtuu. Molemmat eri testaukset ovat nimenomaan suunniteltu tuotteen kokoonpanon jälkeisiin testeihin, joiden tarkoituksena on löytää tuotteen virheellisestä kokoonpanosta tai materiaalista aiheutuvia virheitä. Käytännössä testit kattavat LTE-radorajapinnan fyysisen kerroksen mittauksia perusten spesifikaation [8] yhdenmukaisuusvaatimukseen.

LTE toimii kaistanleveyksillä 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz ja 20 MHz. Lähetin päätettiin testata kaistanleveydellä 10 MHz ja resurssilohkojen maksimimäärällä 50, joka vastasi spesifikaatiossa [8] edellä mainitulle kaistanleveydelle määriteltyä testausvaatimusta. Testausta eri kaistanleveyksillä ei pidetty välttämättömänä. Yhdellä resurssilohkolla tarkoitetaan pienintä kokonaisuutta, joka voidaan lähettää tai vastaanottaa nousevalla ja laskevalla siirtotiellä [10].

LTE-tekniikan testaukseen sisällytettiin tuotteiden LTE-taajuuskaistojen ala- ja yläkanavat, koska radion toimintaongelma saattaa vaikuttaa pelkästään jollakin taajuuskaistalla tai taajuuskaistan kanavalla [11].



Mittaukset tapahtuivat signalointitestausten menetelmää käyttäen, jolla mittauksien lisäksi voidaan testata matkaviestimen LTE-toiminta yhteyden muodostuksessa, kanavanvaihdossa (handover) ja yhteyden katkeamisessa.

Mittausparametreista todettiin tärkeimmäksi sisällyttää testeihin maksimilähtöteho ja viiteherkkyystaso, koska nämä olivat myös matkaviestinoperaattorin vaatimuksista tärkeimmät [9]. Mittauksista rajattiin pois FinUI-testaukseen sisältyvät diversiteettimittaukset sekä FAI-testauksessa mitattava suljettu lähetysteho, koska näitä mittauksia ei olisi pystytty tekemään lopputestausta varten suunnitelluilla laiteilla.

Lopputestaukseen sisällytettiin mittausparametrit:

- maksimilähtöteho (Maximum Output Power)
- minimilähtöteho (Minimum Output Power)
- taajuusvirhe (Frequency Error)
- virhevektorin suuruus (Error Vector Magnitude)
- kantoaaltovuoto (Carrier Leakage)
- vertailuherkkyystaso (Reference Sensitivity Level)
- viereiselle kanavalle vuotavan tehon suhde (Adjacent Channel Leakage Power Ratio).

Kappaleissa 3.1.1–3.1.7 on esitetty mittausparametrit, joille määriteltiin alustavasti raja-arvot spesifikaation [8] perusteella.

### 3.1.1 Maksimilähtöteho

Matkaviestimen lähetysteho ei saa ylittää nimellislähetystehosta ja sallitusta mitapoikkeamasta määriteltyä aluetta. Liiallinen lähetysteho saattaa aiheuttaa häiriöitä muille kanaville ja järjestelmille. Riittämätön lähetysteho pienentää matkaviestimen kuuluvuusaluetta. Nimellinen lähetysteho tulee olla  $23 \text{ dBm} \pm 2,7 \text{ dB}$ . [8]

### 3.1.2 Minimilähtöteho

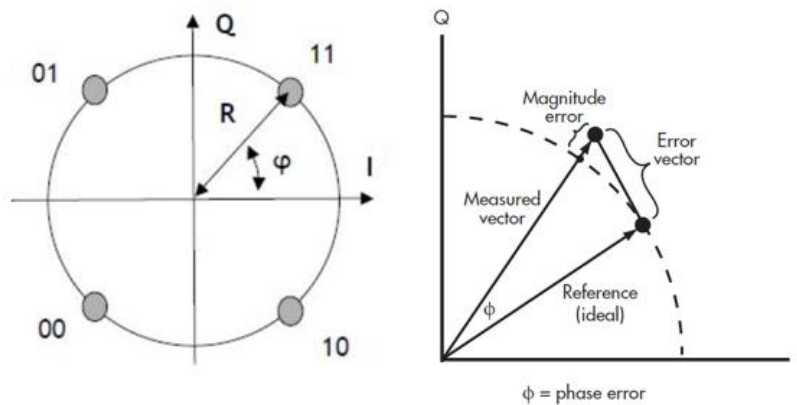
Kun matkaviestimen lähtöteho on asetettu pienimpään arvoon, minimilähtötehon tulee olla alle spesifikaatiossa määritellyn  $-40$  dBm. Minimilähtötehon ylitys pienentää tukiaseman peittoaluetta muille matkaviestimille. [8]

### 3.1.3 Taajuusvirhe

Matkaviestimen vastaanottimen ja lähettimen kykyä prosessoida taajuuksia ilmaistaan taajuusvirheellä. Vastaanottimen tulee erottaa oikea taajuus herätesignaalista, jota systeemisimulaattori syöttää ideaalisessa olosuhteissa ja alhaisella signaalitasolla. Lähettimen tulee tuottaa oikea moduloitu kantaalto vastaanottimen tuloksesta. Taajuusvirheen sallittu vaihteluväli lasketaan käytettävästä kanavan taajuudesta kertomalla se  $\pm 0,1$  ppm:llä. [8]

### 3.1.4 Virhevektorin suuruus

Virhevektorin suuruus (EVM) ilmaisee hyvyysluvun modulointitarkkuudelle. Se tarjoaa keinon mitata ja arvioida mm. nelivaiheista vaiheavainnusta (QPSK). EVM-arvolla voidaan tarkastella kaikkia mahdollisia vaihe- ja amplitudieroja kuten myöskin kohinaa, ja se tarjoaa kokonaisvaltaisen mittauksen tuotteen tai piirin laadun mittaamiseksi [13]. QPSK-modulaation konstellaatio sekä virhevektori on esitetty kuvassa 2, josta myös selviää, että QPSK-modulaatiossa signaalilla on neljä mahdollista tilaa.



R on signaalin amplitudi,  $\phi$  on vaihekulma,  $\Phi$  on vaihevirhe, Q on imaginaariosa ja I on realiosa

Kuva 2. QPSK [12] ja EVM [13].

Spesifikaation [8] mukaan virhevektorin suuruus QPSK-modulaatiossa tulee olla alle 17,5 %.

### 3.1.5 Kantoaaltovuoto

Matkaviestimen lähettimen I-Q modulaation laadun arviointiin käytetään kantoaaltovuotoa. Kantoaaltovuoto on eräänlainen interferenssi, joka aiheutuu ylikuulumisesta tai DC-siirtymästä. Se esiintyy moduloimattomana siniaallona kantaallon kanssa. Interferenssin amplitudi pysyy suunnilleen vakiona ja se on riippumaton halutun signaalin amplitudista. Kantoaaltovuoto interferoi matkaviestimen keskiapukantaaltojen kanssa, joilla on matala amplitudi. Kantoaaltovuodon sallittu yläraja on  $-25$  dBc. [8]

### 3.1.6 Viiteherkkyystaso

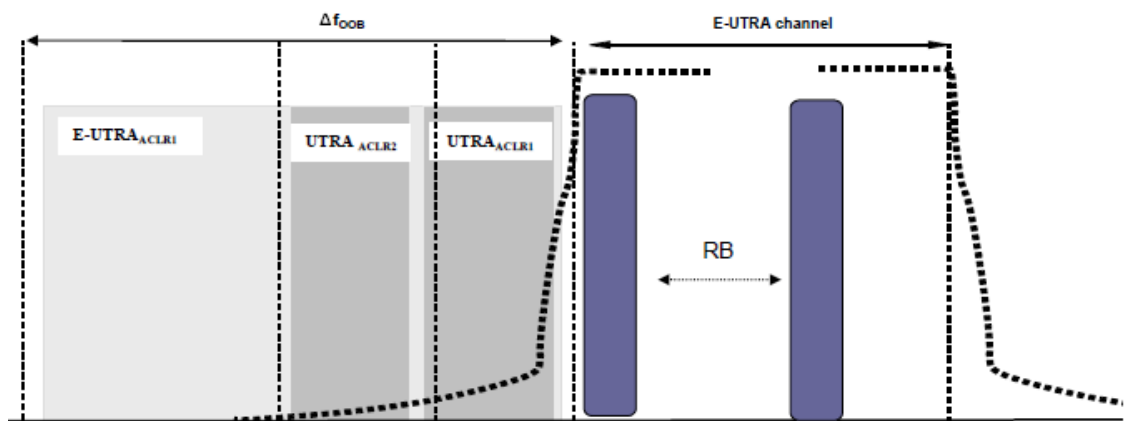
Matkaviestimen LTE-vastaanottimen viiteherkkyystasolla tarkoitetaan pienintä keskimääräistä signaalin tehotasoa ideaalietenemisessä ilman lisättyä kohinaa, jolla vastaanotetusta QPSK-moduloidusta läheteestä pystytään erottamaan vähintään 95 %. Tukiaseman efektiivinen kuuluvuusalue pienenee matkaviestin-

melle, joka ei täytä tätä vaatimusta. Vertailuherkkyystason mittauksessa vastaanotettavan signaalin tehotaso ja resurssilohkojen lukumäärä tulee asettaa testissä käytettävän kaistanleveyden ja taajuuskaistan perusteella. Matkaviestimen LTE-lähetin tulee asettaa maksimitehotasolle, joka tarkoittaa 50 resurssilohkon (Resource Block) lähetystä kaistanleveydellä 10 MHz. [8]

Lähetettävän signaalin verkkosignaaliarvolla (Network Signaling Value) on vaikutusta vastaanottimen toimintaan vertailuherkkyystason mittauksessa. Verkkosignaalin arvo on valittava taajuuskaistan perusteella. [8]

### 3.1.7 Viereiselle kanavalle vuotavan tehon suhde

Matkaviestimen lähetin ei saa aiheuttaa häiriötä vierekkäisille kanaville. ACLR-arvo ilmaisee tehon vuodon vierekkäiselle kanavalle. ACLR-mittausalueen sijoittumista kanavalla on havainnollistettu kuvassa 3 [8]. LTE-radorajapinnasta (matkaviestimen ja tukiaseman välissä) käytetään lyhennettä E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) LTE-verkon arkkitehtuurissa [14].



Kuva 3. ACLR-mittausalueen sijoittuminen kanavalla [8].

Mikäli viereisen kanavan teho on suurempi kuin  $-50$  dBm, on ACLR-arvon sallittu yläraja  $-30$  dBc [8].

Mittausparametrien mittauksista käytetään lopputestauksessa nimitystä testisekvenssi. Testisekvenssi määrittelee yhdenmukaisen testauslaitteesta riippumattoman sekvenssin toiminnallisuuksien testaamiseksi mittausparametreilla. Testisekvenssi on signalointikohtainen ja jokaiselle eri matkaviestinmallille yhteinen.

### 3.2 Testisekvenssin verifiointi

Testisekvenssistä luotiin mittauslaitekohtainen testijono Rohde & Schwarzin CMWrun PC-sovellukselle [23], minkä avulla testisekvenssi voitiin ajaa automaattisesti uudelleen. Testisekvenssin ajoaika vaihteli matkaviestinmalleittain 2...5 minuuttia. Testisekvenssiä testattiin sekä mittausparametrien raja-arvot tarkistettiin testisekvenssiin määrittelyn aikana eri matkaviestinmalleilla. Tämän jälkeen testisekvenssi katselmoitiin kahdella eri LTE-mittalaittevalmistajalla ja kommenttien pohjalta raja-arvoja vielä muutettiin joidenkin parametrien osalta. Lopuksi testisekvenssi testattiin todellisessa huolto paikassa seitsemällä eri matkaviestinmallilla neljän viikon ajan. Testaustuloksia kertyi 352:sta eri matkaviestimien mittauksista. Testaustulokset analysointiin luvussa 5 esitetyllä tavalla. Testauksien perusteella verifioitu testisekvenssi kirjattiin viralliseen huolto paikoille tarkoitettuun lopputestausdokumenttiin, joka hyväksyttiin katselmoinnissa.

Taulukossa 1 on esitetty verifioitu testisekvenssi matkaviestimen LTE-FDD-tekniikan testaamiseksi. Vastaanottimen testaukseen liittyvät asetusvaatimukset määriteltiin spesifikaation [8] perusteella lopputestausohjeisiin [21] seuraaviksi:

- kaistanleveys 10 MHz
- resurssilohkojen määrä 50
- verkkosignaaliarvo NS\_01, jolla suurin sallittu lähetystehon vähennys on 1 dB.

Taulukko 1. Lopputestausohjeisiin [21] määritelty testisekvenssi.

Measurement Parameters	Channel	UE Uplink Level	Low Limit	High Limit	Units
Maximum Output Power	Low	Max	18	28	dBm
Maximum Output Power	High	Max	18	28	dBm
Reference Sensitivity Level >=95% MaxThroughput	Low	Max	3755 kBit/s (95 %)		
Reference Sensitivity Level >=95% MaxThroughput	High	Max	95 %		
Frequency Error	Low	Max	-0.1	0,1	ppm
Frequency Error	High	Max	-0.1	0,1	ppm
Error Vector Magnitude	Low	Max		17,5	%
Error Vector Magnitude	High	Max		17,5	%
Carrier Leakage	Low	3.2 dBm		-25	dBc
Carrier Leakage	High	3.2 dBm		-25	dBc
Adjacent Channel Leakage Power Ratio (E-UTRA)	Low	Max		-30	dBc
Adjacent Channel Leakage Power Ratio (E-UTRA)	High	Max		-30	dBc
Minimum Output Power	Low	Min		-40	dBm

Taulukossa 2 on lähettimen testaukseen määritetyt asetusvaatimukset vaimenuksesta (Reference Sensitivity power level) kaistanleveydellä 10 MHz, verkko-signaaliarvosta (Network Signaling Value) ja resurssilohkojen määrästä laskevalla siirtotiellä ja nousevalla siirtotiellä sekä resurssilohkojen paikasta eli siirtymästä (offset) nousevan siirtotien kanavalla. Asetukset vastaavat spesifikaation [8] vaatimuksia.

Taulukko 2. Lopputestausohjeisiin [21] määritetyt lähettimen testaukseen liittyvät vaatimukset.

E-UTRA Band	Reference Sensitivity power level BW 10 MHz (dBm)	Network Signaling value	Downlink RB	Uplink RB	RB Offset	Duplex Mode
1	-96.3	NS_01	50	50	0	FDD
2	-94.3	NS_03	50	50	0	FDD
3	-93.3	NS_01	50	50	0	FDD
4	-96.3	NS_03	50	50	0	FDD
5	-94.3	NS_01	50	25	24	FDD
7	-94.3	NS_01	50	50	0	FDD
8	-93.3	NS_01	50	25	24	FDD
17	-93.3	NS_06	50	20	29	FDD
20	-93.3	NS_01	50	20	0	FDD

Testisekvenssillä testattavat kaistat ja niitä vastaavat kanavat sekä kanavataajuudet on esitetty taulukossa 3, joka sisällytettiin lopputestausohjeisiin ja ne perustuvat spesifikaation [15].

Taulukko 3. Lopputestausohjeisiin [21] määritetyt testattavat kaistat ja niitä vastaavat kanavat sekä kanavataajuudet.

LTE Band	Uplink Channel	Uplink Frequency (MHz)	Downlink Channel	Downlink Frequency (MHz)	Test Channel	Duplex Mode
1	18050	1925	50	2115	Low	FDD
1	18550	1975	550	2165	High	FDD
2	18650	1855	650	1935	Low	FDD
2	19510	1905	1150	1985	High	FDD
3	19250	1715	1250	1810	Low	FDD
3	19900	1780	1900	1875	High	FDD
4	20000	1715	2000	2115	Low	FDD
4	20350	1750	2350	2150	High	FDD
5	20450	829	2450	874	Low	FDD
5	20600	844	2600	889	High	FDD
7	20800	2505	2800	2625	Low	FDD
7	21400	2565	3400	2685	High	FDD
8	21500	885	3500	930	Low	FDD
8	21750	910	3750	955	High	FDD
17	23780	709	5780	739	Low	FDD
17	23800	711	5800	741	High	FDD
20	24200	837	6200	796	Low	FDD
20	24400	857	6400	816	High	FDD

Testattavalla kanavalla voi esiintyä RF-interferenssihäiriöitä, jolloin testauksen onnistumisen kannalta on perusteltua hienosäätää taajuuksia/kanavanumeroita keskikaistaa kohti. Tämä huomioitiin testausohjeissa. Testausohjeisiin myös lisättiin FAI-testauksesta suositus RF-testien suorittamiseksi matkaviestimen täydellä akulla. FAI-testauksessa oli havaittu akun varauksen vaikuttavan matkaviestimen lähetystehon mittauksiin.

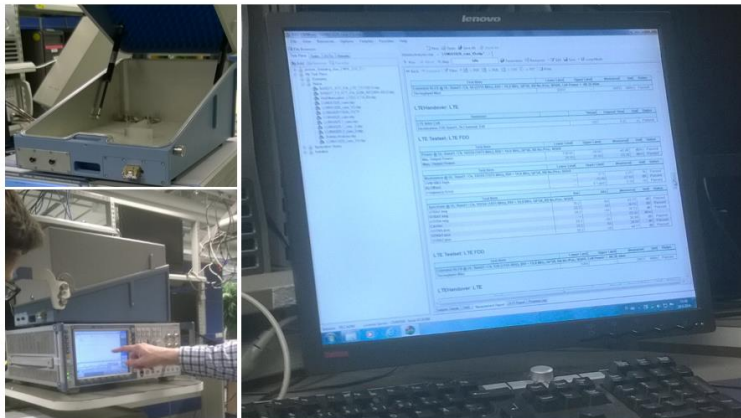
### 3.3 Testausympäristö

Lopputestaukselle asetetun vaatimuksen mukaan testauksen täytyi olla mahdollista huoltopaikoissa käytössä olevilla resursseilla tai vastaavan tyyppisillä laitteistolla kuin millä GSM- ja WCDMA-tekniikoiden lopputestaus tapahtuu. GSM- ja WCDMA-testauksissa käytössä olivat radioyhteystesteri (Radio Communication Tester), antennikytkentälaite (Antenna Coupler), RF-suojalaatikko (RF shield box) ja testauksen automatisointiin PC-sovellus.

Kuvassa 4 on testisekvenssin määrittelyssä käytetty laitteisto. Testausympäristö käsitti seuraavat Rohde & Schwarzin laitteet LTE-mittauksiin tarvittavilla HW- ja SW-konfiguraatioilla:

- CMW500 Wideband Radio Communication Tester
- CMW-Z10 RF Shield Box
- CMW-Z11 Antenna Coupler.

Lisäksi käytettiin Rohde & Schwarzin CMWrun Sequencer Software Tool -PC-sovellusta [23] mittausten automatisointiin.

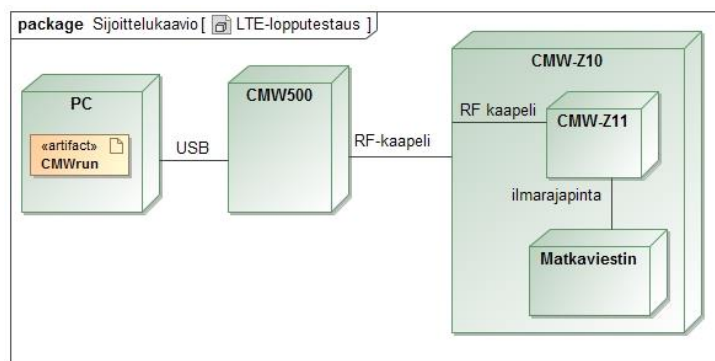


CMW-Z10 RF Shield Box,  
CMW-Z11 Antenna Coupler ja  
CMW500 Wideband Radio Communication Tester

CMWrun Sequencer Software Tool

Kuva 4. Testisekvenssin määrittelyssä käytettävä laitteisto.

Kuvassa 5 on esitetty UML-sijoittelukaaviolla miten laitteistot kytkeytyvät toisiinsa.



Kuva 5. UML-sijoittelukaavio testauksessa käytettävistä laitteistoista.



## 4 MITTAUSTULOSTEN PROSESSOINTI

### 4.1 Menetelmä

Testauksessa käytettävä Rohde & Schwarzin CMWrun-sovellus [23] tallensi ajettavan testisekvenssin tulokset tekstimuotoiseen mittaustulostiedostoon. Jokaisesta ajokerrasta syntyi erillinen tiedosto. Kukin tekstitiedosto sisälsi 13 mittaustulosta jokaista taajuuskaistaa kohti. Pilotointitestauksesta saatiin yhteensä 352 erillistä tulostiedostoa, joissa oli kaiken kaikkiaan 18 252 erillistä mittaustulosta. Mittaustulosten läpikäynti monesta tekstitiedostoista manuaalisesti oli käytännössä mahdotonta.

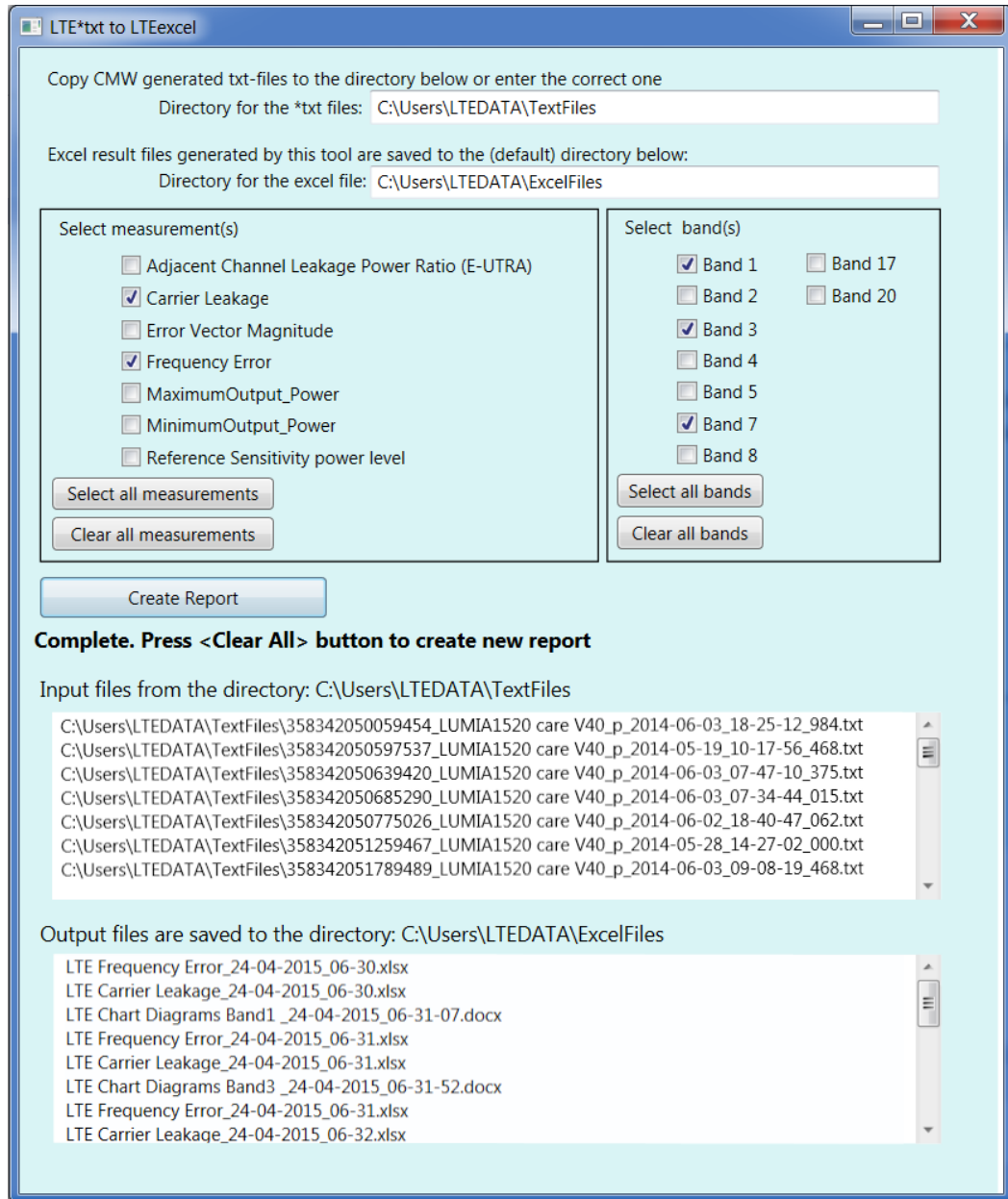
Mittaustulosten analysoinnin helpottamiseksi toteutettiin työpöytäsovellus (LTE Data Processing Application), jonka avulla saatiin tekstitiedostojen mittaustulokset helpommin analysoitaviksi.

#### 4.1.1 Sovelluksen toteutus

LTE Data Processing Application -sovelluksen kehittämisen lähtökohtana oli se, että sillä voidaan siirtää mittaustulokset tekstitiedostoista Excel-tiedostoon taulukkomuotoon sekä muodostaa kaaviokuvat mittausdatoista. Sovelluksen kehityksen aikana järjestetyssä esittelyssä [16] haluttiin lisäksi, että sovelluksella voidaan käsitellä samalla ajokerralla myös kaikki taajuuskaistat ja kaikki mittausparametrit yksittäisen taajuuskaistan tai mittausparametrin asemesta. Lisäksi kaaviokuvaan haluttiin lisättäväksi mitattavan parametrin raja-arvot.

Sovellus toteutettiin C#-ohjelmointikielellä, joka tarjoaa valmiita luokkia sekä Excel- että Word-tiedostojen käsittelyyn. Kehitysympäristönä toimi Microsoftin Visual Studio. Sovellus siirtää käyttäjän määräämän hakemiston mittaustulostekstitiedostoista tulokset Excel-tiedostoon taulukkomuotoon sekä muodostaa ja tallentaa mittaustuloksista kaaviokuvat Word-tiedostoon käyttäjän määräämistä mittausparametreista ja taajuuskaistoista.

Sovelluksen käyttöliittymä toteutettiin WPF-kirjastolla (Windows Presentation Foundation). Käyttöliittymäikkuna on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. LTE Data Processing Application -sovelluksen käyttöliittymä.

#### 4.1.2 Sovelluksen toiminta

Sovelluksen käyttöliittymällä on mahdollista valita mittausparametrit ja taajuuskaistat, joiden mittaustulokset halutaan siirtää mittaustulostiedostoista eli sovellukselle syöttötiedostoista Excel-tiedostoihin ja joista halutaan taajuuskohtaiset kaaviokuvat mittausparametreittain. Mittausparametrit ja taajuuskaistat valitaan käyttöliittymästä klikkaamalla niitä vastaavia valintaruutuja kohdissa "Select measurement(s)" ja "Select band(s)". Vaihtoehtoisesti käyttäjä voi myös valita suoraan kaikki mittausparametrit tai taajuuskaistat valintapainikkeilla "Select all measurements" tai "Select all bands". Kuvasta 6 voi havaita, että käyttöliittymällä on valittu mittausparametrit Carrier Leakage ja Frequency Error sekä taajuuskaistoista Band 1, Band 3 ja Band 7.

Syöttötiedostojen hakemistopolku annetaan käyttöliittymässä kohtaan "Directory for the \*txt files:". Sovellus luo jokaiselle valitulle mittausparametrille Excel-tiedoston, jonne se kirjoittaa taulukkomuotoon syöttötiedostojen nimet, mittausparametrin mittaustulokset sekä parametrin sallitut ala- ja yläraja-arvot mitatuilta taajuusalueilta. Sovellus luo taajuuskaistojen ala- ja yläkanavien mittauksista kaaviokuvat Excel-tiedostojen tiedoista ja tallentaa ne dataprosessoinnin päätteeksi luomiinsa taajuuskaistakohtaisiin Word-tiedostoihin.

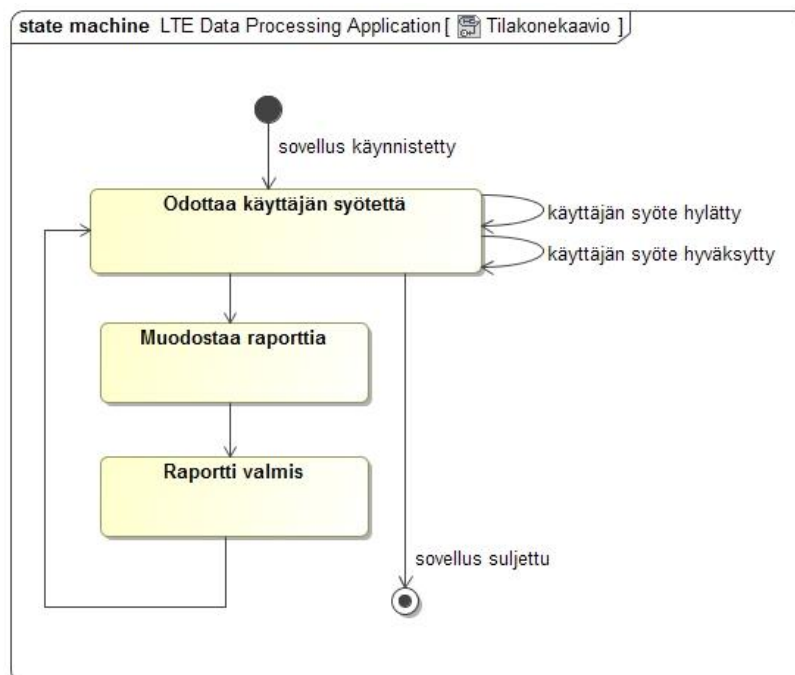
Sovellus tallentaa Excel- ja Word-tiedostot kohdassa "Directory for the excel file:" määriteltyn hakemistopolkuun. Käyttäjä voi halutessaan vaihtaa hakemistopolun sovelluksen tarjoamasta oletushakemistopolusta. Kun edellä mainitut lähtötiedot on sovellukseen annettu, datan prosessoinnin voi käynnistää klikkaamalla painiketta "Create Report". Mikäli mittausparametria tai taajuuskaistaa ei ole valittu tai syöttötiedostojen hakemistopolku on tyhjä, käyttöliittymä näyttää tilanteesta informatiivisen tekstin ja jää odottamaan käyttäjän valintaa.

Dataprosessoinnin päätteeksi käyttöliittymä näyttää sekä syöttötiedostojen että sovelluksen luomien Excel-tiedostojen ja Word-tiedostojen nimet. Syöttötiedostojen nimet näytetään käyttöliittymän kohdassa "Input files from the directory:" ja Excel- ja Word-tiedostojen nimet kohdassa "Output files are saved to the

directory:”. Käyttäjä voi halutessaan aloittaa seuraavan istunnon syöttämällä edellä mainitulla tavalla lähtötiedot ja klikkaamalla painiketta ”Create Report”.

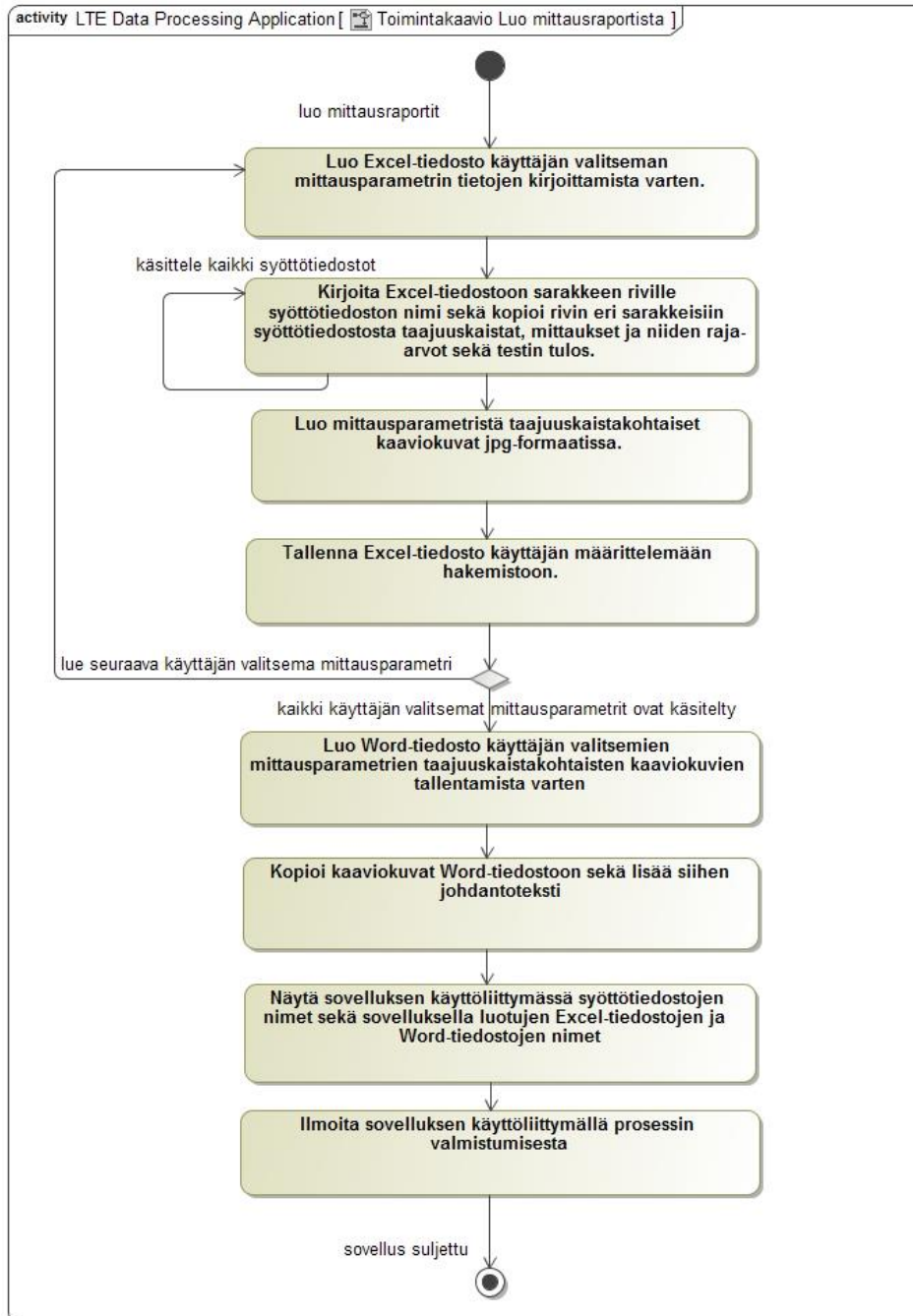
Sovellus nimeää Excel-tiedoston mittausparametrin sekä ohjelman ajonaikaisen päivämäärän ja kellonajan perusteella. Word-tiedoston nimestä selviää taajuus-alue sekä ohjelman ajonaikainen päivämäärä ja kellonaika.

Sovelluksen käyttäytymistä ja sen tilan muuttumista siihen kohdistuvilla tapahtumilla on kuvattu UML-tilakonekaaviolla kuvassa 7.



Kuva 7. LTE Data Processing Application -sovelluksen tilakonekaavio.

Käyttäjä voi syöttää lähtötiedot sovelluksen käynnistyttyä. Käyttöliittymä vastaa kuvassa 7 tilaa ”Odottaa käyttäjän syötettä”. Tilojen ”Muodostaa raporttia ja ”Raportti valmis” toiminnot on esitetty UML-toimintakaaviolla kuvassa 8.



Kuva 8. LTE Data Processing Application -sovelluksen toimintakaavio.

Poimintoja syöttötiedostosta ja Excel- ja Word-tulostiedostosta on esitetty kuvissa 9–12.

```

Test Plan      : D:\LTE TESTS\LUMIA625 care V30.rstp
RESULT: ---
Test Executive: R&S CMWrun 1.7.8
Instrument 1   : Rohde&Schwarz,CMW,1201.0002k50/101368,3.0.14

```

```

-----
Power @ UL: Band3 / Ch. 19250 (1715 MHz), BW = 10.0 MHz, QPSK,
RB No./Pos.: N50/0
-----

```

	Lower Limit	Upper Limit	Measured	Unit	Status
Min. Output Power:	-130.00	-40.00	-43.77	dBm	Passed
Max. Output Power:	18.00	28.00	24.11	dBm	Passed

```

-----
Modulation @ UL: Band3 / Ch. 19250 (1715 MHz) BW = 10.0 MHz QPSK

```

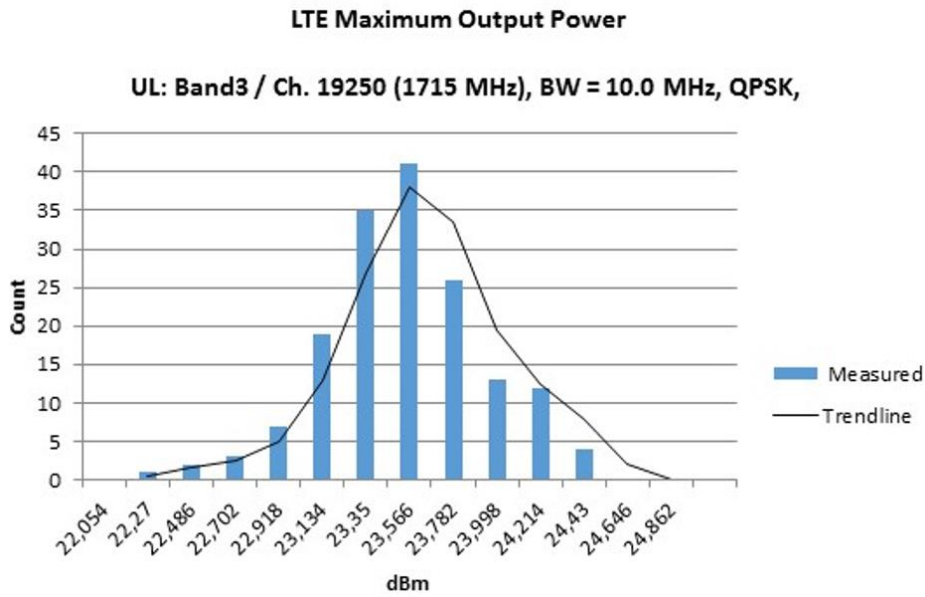
Kuva 9. Paiminto CMWrun-sovelluksen [23] tuottamasta syöttötiedostosta.

LTE Data Processing Application -sovellus siirtää syöttötiedostosta tulokset Excel-tiedostoon, josta on paiminto kuvassa 10.

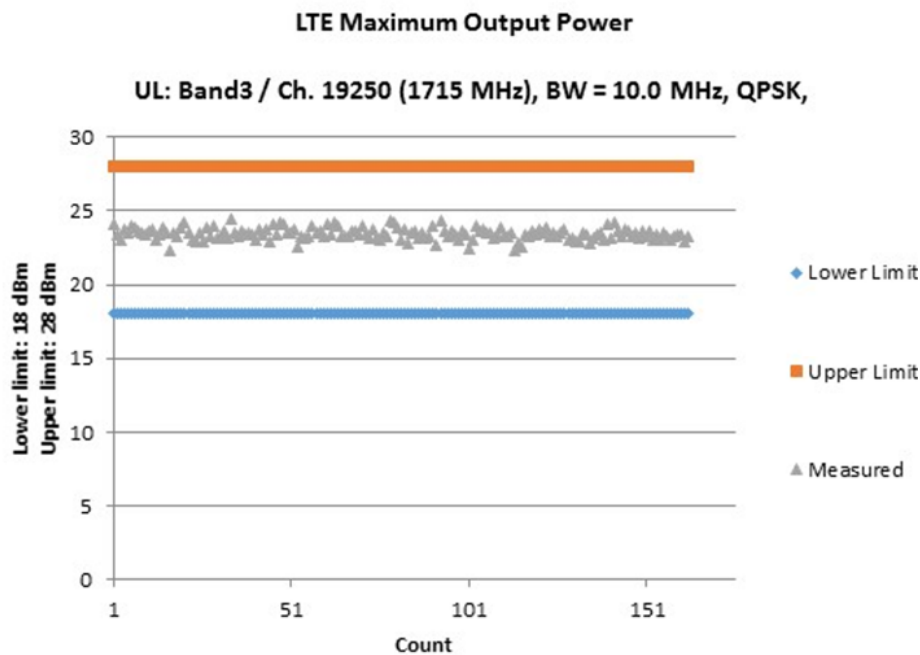
A	B	C	D	E	F	G
	LTE Measurements. 13.04.2014 15:02:26	Max. Output Power:				
		Lower Limit:	Upper Limit	Measured	Unit	Result
C:\Users\Document	UL: Band3 / Ch. 19250 (1715 MHz), BW = 10.0 MHz, QPSK,	18	28	24,11	dBm	Passed
C:\Users\Document	UL: Band3 / Ch. 19900 (1780 MHz), BW = 10.0 MHz, QPSK,	18	28	24,73	dBm	Passed
C:\Users\Document	UL: Band7 / Ch. 20800 (2505 MHz), BW = 10.0 MHz, QPSK,	18	28	24,91	dBm	Passed
C:\Users\Document	UL: Band7 / Ch. 21400 (2565 MHz), BW = 10.0 MHz, QPSK,	18	28	22,92	dBm	Passed

Kuva 10. Paiminto LTE Data Processing Application -sovelluksen luomasta Excel-tiedostosta, josta on nähtävissä syöttötiedoston testaustuloksia.

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty LTE Data Processing Application -sovelluksen luomat kaaviokuvat Excel-tiedoston parametrin maksimilähtötehon (Maximum Output Power) mittauksista taajuuskaistan 3 alakanavalta.



Kuva 11. Histogrammi maksimilähtötehon mittauksista (Maximum Output Power) taajuuskaistan 3 alakanavalta.



Kuva 12. Hajontakuvio maksimilähtötehon mittauksista (Maximum Output Power) taajuuskaistan 3 alakanavalta.

Kuvista 11 ja 12 voi silmämääräisesti havaita jakauman symmetrisyyden sekä mittauksien osuvan hyvin raja-arvojen keskikohtaan. Kuvien 9–12 poiminnot ovat matkaviestinmallista A.

## 5 MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Lopputestausmenetelmän arvioimiseksi ei ollut vertailumenetelmää eikä vertailumatkaviestimiä, joilla lopputestausmenetelmän kyvykkyyttä olisi voinut testata.

Huoltoon päätyneiden matkaviestimien RF-ongelmista eikä lukumääristä ollut saatavilla tietoja lopputestauksessa löydettyjen vikojen määrän arvioimiseksi. Mittausprosessin huoltopaikoissa oletettiin olevan stabiili, missä mittausvirheitä ei esiinny. Huoltoprosessiin sisältyvän ohjeen mukaan mittauslaitteet ja RF-vaimennus kalibroidaan aina ennen uuden matkaviestimen testausta [17]. Poikkeavien havaintojen oletettiin aiheutuvan huollettavan matkaviestimen kokoonpanovirheestä tai muusta inhimillisistä virheestä ennen laitteen mittauksia.

Otantamenetelmänä käytettiin peräkkäisotantaa. Huoltopaikasta kerättiin lopputestausohjeen mukaan testattujen matkaviestimien testaustulokset neljän viikon ajalta. Jokaisella huolletulla matkaviestimellä oli yhtä suuri todennäköisyys päästä otokseen. Vilpaksen [22] mukaan otoksen perusteella voidaan tehdä päätelmiä tutkimuksen kohdejoukosta, jos otos on satunnaisesti valittu. Tästä syystä matkaviestinmallien LTE-tekniikan toimivuudesta voitiin tehdä otoksen perusteella päätelmiä. Testaustulokset analysoitiin matkaviestinmalleittain, koska matkaviestinmalleissa käytettävät rakenteet ja tekniikat erosivat toisistaan. Mittausarvot analysoitiin tilastollisin menetelmin satunnaisessa järjestyksessä.

### 5.1 Menetelmä

Mittaustuloksia ja niiden jakaumaa tarkasteltiin ensin kaavioista, joista pystyi nopeasti hahmottamaan mittauksien erot ja säännönmukaisuudet yhtenä kokonaisuutena. Mittauksia tarkasteltiin taulukoista mittauksen suurimman ja pienimmän arvon perusteella sekä keskiarvon, keskihajonnan ja tyyppiarvon perusteella.

Mittaustuloksista luotiin yhteenvetokaaviot, joista selviää testattujen matkaviestimien lukumäärät ja testitulokset malleittain sekä testitulosten prosentuaalinen jakauma.

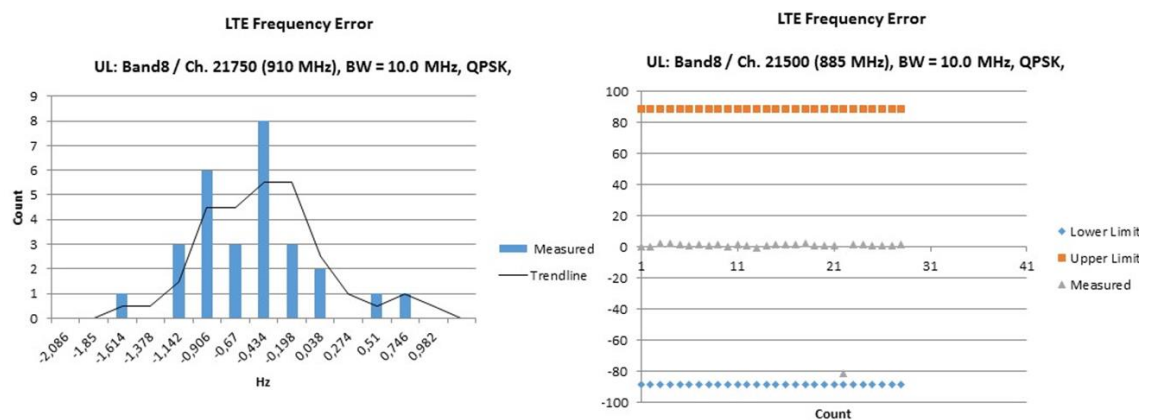


Matkaviestinmallin mittaustulokset, jonka yksittäisten matkaviestimien lukumäärä oli riittävä tilastolliseen tarkasteluun, analysointiin Minitab-tilastointisovelluksella [18]. Sovelluksen avulla laskettiin mittaussarjan normaalijakaumasta suorituskykyindeksi (Process Performance Index, Ppk) ja mittauksen odotettu poikkeama sallitusta arvosta pidemmällä aikavälillä. Mittaussarjalla tarkoitetaan saman parametrin mittauksia matkaviestinmallin kaikilla matkaviestimillä samalla taajuuskaistan kanavalla. Normaalijakaumaan perustuvat tilastolliset arviot tehtiin matkaviestinmalleille A, C ja D. Matkaviestinmallien B, E, F ja G lukumäärät olivat tähän riittämättömiä. Riittävänä määränä on yleisesti pidetty yli noin 50 toisistaan riippumatonta tietomäärää dokumentin [19] mukaan.

## 5.2 Tulokset

### 5.2.1 Alustavat kaaviot

Mittaustuloksista luotiin histogrammi- ja hajontakaavioita, joista selvisi nopeasti kokonaiskuva mittaustuloksista. Kuvassa 13 on poiminto matkaviestinmallin B mittaustulosten histogrammi- ja hajontakaavioista, joista taajuuskaistan 8 alakanavan mittauksista on nähtävissä poikkeama keskimääräisistä mittaustuloksista poikkeaman silti ollessa raja-arvojen sisällä.



Kuva 13. Testaustuloksista luotu histogrammi- ja hajontakaavio.

Kuvan 13 histogrammeista selviää mittausten jakautuminen ja hajontakaavioista selviää hajonta parhaiten. Mittaussarjojen tilastollista jakaumaa tarkasteltiin Minitab-ohjelmalla [18]

## 5.2.2 Tilastollinen tarkastelu

Mittaustulosten tilastollisten tunnuslukujen laskemisessa käytettiin Minitab-tilastolaskentaohjelmistoa [18]. Mittaustuloksille valittiin optimaalisin normaalijakauma ohjelmiston tarjoamien eri jakaumien Probability Plot -kaavioiden avulla, joista oli nähtävissä muiden jakaumien kuin viiteherkkyystason mittausten noudattavan normaalijakaumaa 5 %:n riskitasolla. Valitun jakauman perusteella laskettiin mittaussarjasta mittauksen suorituskykyindeksi (Ppk) ja odotettu poikkeama sallitusta arvosta pidemmällä aikavälillä. Tulokset on esitetty taulukoissa 4–6. Viiteherkkyystason mittaukset (Reference Sensitivity Level) eivät olleet normaalijakautuneet, joten tunnuslukuja ei voitu niille määrittää.

Taulukko 4. Odotetut poikkeamat ja suoritusindeksit matkaviestinmallin A mittaustuloksista.

Mobile device model: A Measurements	Percentage of expected failures and Process Performance Index						
	Channel	Band3-%	Band3-Ppk	Band7-%	Band7-Ppk	Band20-%	Band20-Ppk
Maximum Output Power	Low	0,00	> 1	0,00	> 1	0,01	> 1
Maximum Output Power	High	0,00	> 1	0,27	0,93	0,01	> 1
Reference Sensitivity Level	Low	There is insufficient variation.					
Reference Sensitivity Level	High	No calculations can be done.					
Frequency Error	Low	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Frequency Error	High	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Error Vector Magnitude	Low	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Error Vector Magnitude	High	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Carrier Leakage	Low	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Carrier Leakage	High	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Adjacent Channel Leakage Power Ratio	Low	0,00	> 1	0,02	> 1	0,00	> 1
Adjacent Channel Leakage Power Ratio	High	0,00	> 1	0,00	> 1	0,00	> 1
Minimum Output Power	Low	0,00	> 1	0,04	> 1	2,00	0,68
Minimum Output Power	High	0,96	0,78	0,29	0,92	0,91	0,79

Taulukossa 4 lukuarvo esimerkiksi 0,96 tarkoittaa, että 0,96 % mittaustuloksesta menee pidemmän aikajakson aikana yli mittausraja-arvon. Suorituskykyindeksi mittaussarjalle on vastaavasti 0,78, joka on alle hyvänä pidetyn Ppk 1 arvon [19]. Taulukossa 5 on esitetty vastaavasti matkaviestinmallin C odotetut poikkeamat ja suoritusindeksit mittaustuloksista.

Taulukko 5. Odotetut poikkeamat matkaviestinmallin C mittaustuloksista.

Mobile device model: C Measurements	Channel	Percentage of expected failures and Process Performance Index									
		Band1-%	Band1-Ppk	Band3-%	Band3-Ppk	Band7-%	Band7-Ppk	Band8-%	Band8-Ppk	Band20-%	Band20-Ppk
Maximum Output Power	Low	1,99	0,69	0,00	>1	0,93	0,79	0,00	>1	0,00	>1
Maximum Output Power	High	4,28	0,57	0,00	>1	0,72	0,82	0,09	>1	0,00	>1
Reference Sensitivity Level	Low	There is insufficient variation.									
Reference Sensitivity Level	High	No calculations can be done.									
Frequency Error	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1
Frequency Error	High	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1
Error Vector Magnitude	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,37	0,89	0,00	>1
Error Vector Magnitude	High	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,03	>1	0,00	>1
Carrier Leakage	Low	0,02	>1	0,08	>1	0,29	0,92	0,00	>1	0,00	>1
Carrier Leakage	High	0,03	>1	0,09	>1	0,08	>1	0,00	>1	0,00	>1
Adjacent Channel Leakage Power Ratio	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,01	>1	0,00	>1	0,00	>1
Adjacent Channel Leakage Power Ratio	High	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1
Minimum Output Power	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,01	>1	0,00	>1	0,00	>1
Minimum Output Power	High	0,00	>1	0,00	>1	0,03	>1	0,00	>1	0,00	>1

Taulukosta 5 voidaan havaita, että 4,28 % maksimilähtötehon (Maximum Output Power) mittauksista kanavan 2 ylätaajuudelta tulee ylittämään sallitun toleranssin. Vastaava suorituskyyntindeksi mittaussarjalle on 0,57, jota voidaan pitää osoituksena melko huonosta laadusta.

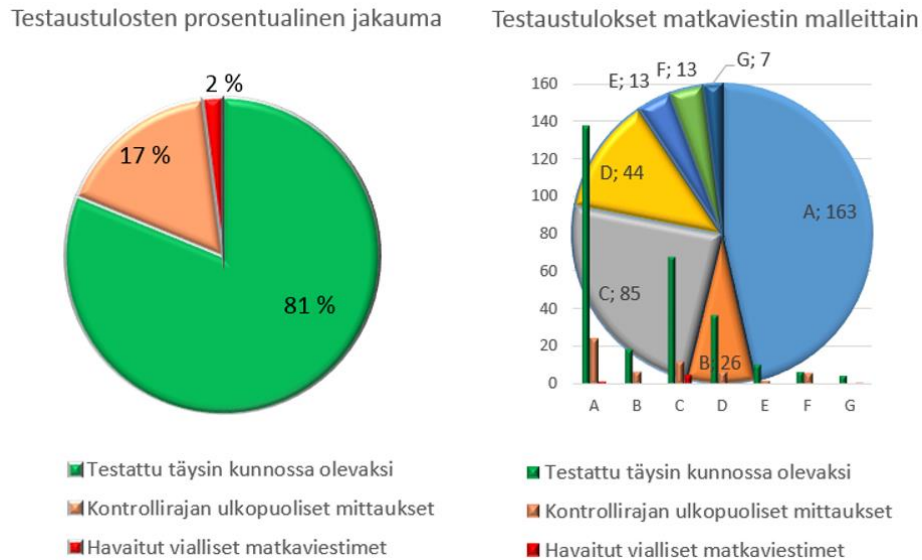
Taulukko 6. Odotetut poikkeamat matkaviestinmallin D mittaustuloksista.

Mobile device model: D Measurements	Channel	Percentage of expected failures and Process Performance Index									
		Band1-%	Band1-Ppk	Band3-%	Band3-Ppk	Band7-%	Band7-Ppk	Band8-%	Band8-Ppk	Band20-%	Band20-Ppk
Maximum Output Power	Low	0,00	>1	0,20	0,96	0,00	0,79	0,00	>1	0,00	>1
Maximum Output Power	High	0,00	>1	0,09	>1	0,00	0,82	0,09	>1	0,00	>1
Reference Sensitivity Level	Low	There is insufficient variation.									
Reference Sensitivity Level	High	No calculations can be done.									
Frequency Error	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,48	>1	0,00	>1	0,00	>1
Frequency Error	High	0,00	>1	0,00	>1	0,88	>1	0,00	>1	0,00	>1
Error Vector Magnitude	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,08	>1	0,04	>1	0,00	>1
Error Vector Magnitude	High	0,00	>1	0,00	>1	0,04	>1	0,00	>1	0,01	>1
Carrier Leakage	Low	0,05	>1	0,08	>1	0,12	>1	0,11	>1	0,30	0,91
Carrier Leakage	High	0,41	>1	0,09	>1	0,02	>1	0,25	0,94	0,06	>1
Adjacent Channel Leakage Power Ratio	Low	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1	0,00	>1
Adjacent Channel Leakage Power Ratio	High	0,02	>1	0,00	>1	0,34	0,90	0,00	>1	0,00	>1
Minimum Output Power	Low	0,05	>1	0,00	>1	0,01	>1	0,01	>1	0,04	>1
Minimum Output Power	High	0,43	0,87	0,02	>1	1,00	0,78	0,16	0,98	0,00	>1

Taulukon 6 tuloksista on myös nähtävissä < 1 Ppk arvoja mittaussarjoille.

### 5.2.3 Havaitut viat

Mittaustuloksista on esitetty yhteenvetokaaviot kuvassa 14. Kuvan vasemmasta diagrammista selviää testattujen matkaviestimien prosentuaalinen jakauma testaustuloksilla: havaitut viat, tilastollisen kontrollirajojen ulkopuoliset mittaukset sekä testattu täysin kunnossa olevaksi. Oikeanpuoleisissa diagrammeissa on esitetty testaustulokset matkaviestinmalleittain. Testaukset tehtiin seitsemälle eri matkaviestinmallille, jotka on diagrammissa nimetty aakkosin (A–G).



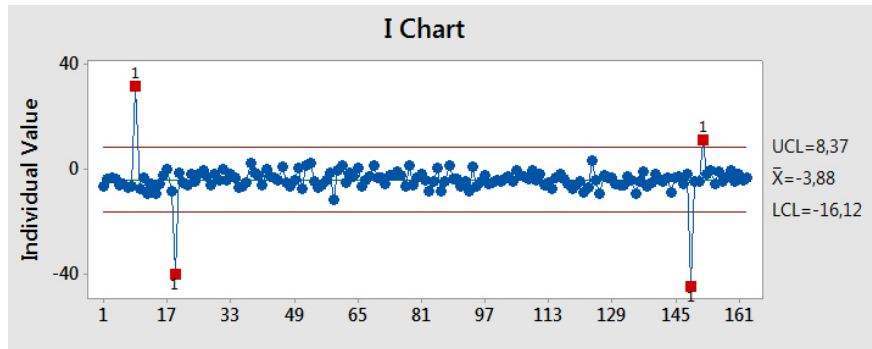
Kuva 14. Testaustulosten prosentuaalinen jakauma, matkaviestinmallien lukumäärät ja testaustulokset.

Kuvan 14 kaavioiden numeeriset tiedot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Yhteenvetokaavioiden numeeriset tiedot.

Testaustulokset	Matkaviestin mallit						
	A	B	C	D	E	F	G
Testattu täysin kunnossa olevaksi	138	19	68	37	11	7	5
Kontrollirajan ulkopuoliset mittaukset	24	7	12	7	2	6	1
Havaitut vialliset matkaviestimet	1	0	5	0	0	0	1

Kontrollirajojen ulkopuoliset mittaukset tarkoittavat mittaustuloksia, jotka ovat enemmän kuin tilastollisen kontrollirajan kolmen keskihajonnan etäisyydellä normaalijakauman keskiarvosta. Kolmen keskihajonnan määrittämien rajojen sisään jäävä osa (saantoprosentti) on 99,73 % , joka on tulkittavissa siten, että 99,73 % todennäköisyydellä mittaustulokset osuvat mittausravojen sisälle ja 0,27 % mittaustuloksista eivät täytä toleranssivaatimuksia [19]. Kontrollirajojen ulkopuoliset mittaukset selvitetiin Minitab-ohjelmistolla [18] luoduista hajontakaavioista. Kuvassa 15 on hajontakaaviosta esimerkki matkaviestinmallin A taajuuskaistan 7 alakanavan mittauksesta. Kontrollirajojen ulkopuoliset pisteet erottuvat kuvasta punaisilla neliöillä.



Kuva 15. Hajontakuviokuva esimerkki tilastollisen kontrollirajan ylittävistä mittauksista.

Taulukossa 8 on esitetty yksittäisten matkaviestimien mittaustulosten perusteella todetut viat malleittain.

Taulukko 8. Matkaviestimien mittausten perusteella todetut viat.

Matkaviestimet malleittain	Mittaus, jolla vika todettiin	Kaista 1		Kaista 3		Kaista 7		Kaista 8		Kaista 20	
		alakanava	yläkanava	alakanava	yläkanava	alakanava	yläkanava	alakanava	yläkanava	alakanava	yläkanava
A1	Viiteherkkyytaso	Hylätty		ei käytössä				ei käytössä			
C1	Maksimilähtöteho	Hylätty	Hylätty			Hylätty	Hylätty				
C1	Viiteherkkyytaso	Hylätty	Hylätty							Hylätty	
C2	Viiteherkkyytaso	Hylätty	Hylätty	Hylätty							
C3	Maksimilähtöteho	Hylätty	Hylätty			Hylätty	Hylätty				
C3	Viiteherkkyytaso	Hylätty									
C4	Viiteherkkyytaso									Hylätty	
C5	Viiteherkkyytaso									Hylätty	
G1	Viiteherkkyytaso							Hylätty	Hylätty		

Taulukosta 8 voi havaita, että matkaviestimet todettiin viallisiksi mittauksilla: viiteherkkyytaso ja maksimilähtöteho.

Käytännössä huono viiteherkkyytaso ilmenee matkaviestimen LTE-tekniikan heikentyneenä kyvykkyytenä vastaanottaa dataa kyseessä olevalta kanavalta. Maksimilähtötehon mittauksella todettiin kaikissa ongelmallisissa matkaviestimissä riittämätön lähetysteho, joka käytännössä pienentää matkaviestimen kuuluvuus-alueita.

Testeillä löydettiin myös vika, joka liittyi LTE-kaistan 3 kanavanvaihtoon matkaviestinmallin A eräissä operaattorivariantin matkaviestimissä. Vika ei ole mukana taulukon 8 tiedoissa eikä kuvassa 14 esitetyssä vikaprozentissa.

### 5.3 Testaustulosten yhteenveto

Tilastollisen analyysin perusteella mittaustulokset ylittävät sallitut toleranssit pidemmän aikajakson kuluessa mittaussparametristä ja matkaviestinmallista vaihdellen 0,01...4,28 %. Mittaustuloksista laskettujen suorituskykyindeksien perusteella matkaviestimien LTE-tekniikan laatu olisi alle yleisesti pidetyn hyvän laatu-tason pidemmällä aikavälillä. Taulukoista 4–6 on nähtävissä, että ainoastaan taa-juusvirheen suorituskykyindeksi oli kaikilla matkaviestinmalleilla A, C ja D yli hy-vänä pidetyn arvon, sitä vastoin vain maksimilähtöteho oli kaikilla alle hyvän ar-von. Tuloksista on pääteltävissä, että mittaustulokset eivät olleet matkaviestin-malleittain keskenään vertailtavissa. Matkaviestinmallien rakenteet ja tekniikat erosivat myös toisistaan, jolloin tilastollinen analyysi matkaviestinmalleittain oli perusteltu.

Luonnollisesta hajonnasta poikkeavia tuloksia eli kontrollirajojen ulkopuolisia mit-taustuloksia ei pystytty selvittämään, koska muita kuin mittaustuloksia ei ollut saatavilla. Poikkeamien oletettiin johtuvan huollettavan matkaviestimen kokoon-panovirheestä tai muusta inhimillisestä virheestä. Mittaustuloksia oli mahdollista kerätä vain yhdestä huolto- ja mittaustulosta, jonka prosessin oletettiin olevan stabiili ja luotettava. Huolto- ja mittaustulostaan liittyviä tekijöitä ei kuitenkaan täysin tun-nettu. Mittausinstrumentit oletettiin olevan kunnossa ja kalibroituina huolto-ohjee-seen [17] nojautuen. Ulkoisista tekijöistä ja mahdollisesti virheistä, joilla olisi vai-kutusta tuloksiin, ei ollut tietoja saatavilla. Nämä kaikki em. seikat heikentävät tulosten ja ennustettavuuden luotettavuutta. Luotettavammat tilastolliset päätel-mät edellyttäisivät huolto- ja mittaustulostaan kokonaisvaltaista ymmärtämistä sekä eri huolto- ja mittaustulostaan kerättyjen matkaviestinmallien testaustulosten analysointia edus-tavasta määrästä matkaviestimiä. Opinnäytetyön aikana tämä ei ollut mahdol-lista.

Korjauksessa kokoonpannuista matkaviestimistä havaittiin lopputestausmenetel-mällä olevan LTE-viallisia 2 %. Lisäksi havaittiin eräässä operaattorivariantin matkaviestinmallissa LTE-kanavanvaihtoon liittyvä vika, jota ei oltu havaittu

muilla testeillä ennen tuotteiden päätymistä kuluttajille. Ilman tarkempaa vertailevaa tietoa LTE-viallisten matkaviestimien suhteellista osuutta ei voi käyttää lopputestausohjeen tai huoltoprosessin arviointiin eikä vikojen ennustamiseen.

Taulukosta 8 voidaan todeta, että vika ei välttämättä esiinny kaikilla taajuuskaistoilla eikä taajuuskaistan kaikilla kanavilla. Tämä oli lähtökohtana myös testausta suunniteltaessa.

Tulosten perusteella voidaan yleisesti todeta, että lopputestausmenetelmällä voidaan havaita LTE-vikoja, joita ei ole havaittu muilla testausmenetelmillä. Testauksen tulee kattaa matkaviestimen kaikki taajuuskaistat ylä- ja alakanavineen. Vika voi ilmetä muun muassa LTE-tekniikan toimimattomuutena, se voi pienentää matkaviestimen kuuluvuusaluetta sekä myös katkaista yhteyden jollakin taajuuskanavalla. Tulokset eivät ole matkaviestinmalleittain vertailukelpoisia eivätkä välttämättä huoltopaikoittain.

## 6 YHTEENVETO

Työssä määriteltiin lopputestausohjeet matkaviestimien LTE-FDD-tekniikan testaamiseksi huoltopaikoille. Lopputestausohjeiden määrittelyä varten selvitetiin testauksen tavoitteet ja kattavuus sekä testaustapa. Selvityksen perusteella valittiin tuotannossa käytettävistä testausmenetelmistä sellaiset LTE-testit, jotka olisivat huoltopaikoissa mahdollisia käytössä olevilla resursseilla. Testaukseen sisältyvät mittaukset sekä niiden raja-arvot perustuivat 3GPP-spesifikaatioihin. Raja-arvoissa huomioitiin LTE-mittalaittevalmistajien muutospyyntö. Testaustavaksi määräytyi signaalointitestausta saatavissa olevan teknologian perusteella.

Testausmenetelmää testattiin eri matkaviestinmalleilla määrittelyvaiheessa. Lopputestausmenetelmän pilotointi sovittiin todellisen huoltopaikan kanssa, jossa testausmenetelmällä testattiin huollettuja matkaviestimiä. Huoltopaikasta kertyneiden mittaustulosten analysoinnin helpottamiseksi ohjelmoitiin sovellus, jolla mittaustulokset muunnettiin tekstitiedostoista taulukkomuotoon käsiteltäviksi ja jolla mittaustuloksista luotiin havainnollistavat graafiset kaaviot. Kaavioiden perusteella tarkasteltiin matkaviestimen kaikki mittaustulokset, mikäli jokin mittaustulos oli määritellyn raja-arvon ulkopuolella. Näissä tapauksissa matkaviestin todettiin vialliseksi. Mittaustulosten perusteella vika ei kuitenkaan esiintynyt kaikilla taajuuskaistoilla ja joissakin tapauksissa ei edes kaikilla taajuuskaistan kanavilla.

Jokaisesta normaalijakaumaa noudattavista mittaussarjasta laskettiin suorituskykyindeksi ja mittauksen odotettu poikkeama sallitusta arvosta pidemmällä aikavälillä. Tulosten perusteella kaikki mittaukset ylittävät sallitut toleranssit pidemmän aikajakson kuluessa matkaviestinmallista ja mittausparametrin vaihdellen 0,01...4,28 %. Suorituskykyindeksien perusteella oli tarkasteltavien matkaviestinmallien LTE-tekniikan laatu pidemmällä aikavälillä alle yleisesti hyvänä pidetyn laatutason. Luotettavimmat tilastolliset päätelmät olisivat edellyttäneet huolto-prosessin kokonaisvaltaista ymmärtämistä sekä eri huoltopaikoista kerättyjen matkaviestinmallien testaustulosten analysointia edustavasta määrästä matkaviestimiä. Tilastollisista tunnusluvuista ja mittauksien jakaumasta oli pääteltä-



vissä prosessin laatuun liittyviä seikkoja, joita ei pelkästään raja-arvojen ulkopuolisista mittaustuloksista voitu havaita. Tilastolliseen analyysiin perustuvia päätelmiä sekä vertailevaa tietoa havaituista LTE-vioista tulisi käyttää jatkossa apuna huolto prosessin ja lopputestausohjeen kehittämisessä.

Testausmenetelmästä todettiin, että ilman vastaavaa systemaattista testausta on mahdollista, että asiakkaalle luovutetaan epäkurantti tuote. Testauksella havaittiin vikoja, jotka olisivat matkaviestimen normaalikäytössä ilmentyneet pienentyneenä peittoalueena tai yhteyden katkeamisena jollakin taajuuskanavalla.

## LÄHTEET

- [1] Global mobile Suppliers Association, "LTE reached 497 million subs by December 2014; growth outpaced 3G in 2H says GSA", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.gsacom.com/news/gsa\\_424.php](http://www.gsacom.com/news/gsa_424.php). (Luettu: 30.4.2015).
- [2] CCS insight, "Market Forecast: Mobile Phones", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.ccsinsight.com/our-services/1708-market-forecast-mobile-phones>. (Luettu: 30.4.2015).
- [3] Zyren, J., "Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer", [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://cache.freescale.com/files/wireless\\_comm/doc/white\\_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf](http://cache.freescale.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf). (Luettu: 12.1.2014).
- [4] "General- and Special-Component Handling Doc. Nr. SR- 997", Microsoft.
- [5] LTE test sequence for Care –kokous 20.11.2013.
- [6] *3GPP TS 36.214 v9.10, LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer – Measurements*. 3Gpp, 2010.
- [7] Virtanen, J., MIMO – MONIANTENNILÄHETTÄMINEN JA VASTAANOTTO, tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003065014>.
- [8] *3GPP TS 36.521-1v.11.1.0, LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 1: Conformance testing*. 3GPP. 2013.
- [9] "Radiated RF Parametric Inspection Requirements", AT&T.
- [10] UMTS Long Term Evolution (LTE) - Technology Introduction, [www-dokumentti]. Saatavilla [http://www.rohde-schwarz.com/en/applications/umts-long-term-evolution-lte-technology-introduction-application-note\\_56280-15658.html](http://www.rohde-schwarz.com/en/applications/umts-long-term-evolution-lte-technology-introduction-application-note_56280-15658.html) (Luettu: 18.1.2014).
- [11] LTE test sequence for Care -kokous 27.11.2013
- [12] Telecom Techiques Guide, "Constellation in LTE", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.teletopix.org/4g-lte/constellation-in-lte/>. (Luettu: 4.4.2015).
- [13] EngineeringEssentials, "Understanding Error Vector Magnitude", [www-dokumentti]. Saatavilla:<http://electronicdesign.com/engineering-essentials/understanding-error-vector-magnitude>. (Luettu 4.4.2015).
- [14] 3GPP, "UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE)", [www-dokumentti]. Saatavilla: [ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008\\_web\\_files/LTA\\_Paper.pdf](ftp://ftp.3gpp.org/Inbox/2008_web_files/LTA_Paper.pdf). (Luettu 5.4.2015),
- [15] *3GPP TS 35.508 v.11.4.0, LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Packet Core (EPC); Common test environments for User Equipment (UE) conformance testing*. 3GPP, 2014.
- [16] LTE Data Processing Application -sovelluksen demonstraatio 25.6.2014.
- [17] "Golden Phone Process", Microsoft.
- [18] Minitab versio 17, Minitab, osoite saatavilla: <http://www.minitab.com/en-us/contact-us/>. (Luettu 10.4.2015),

- [19] Engineering Statistics, "NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>. (Luettu 10.4.2015).
- [20] Nohrborg, M., "LTE Overview", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. (Luettu 9.5.2015).
- [21] "Final Test Specification for GSM-WCDMA-LTE Phones Doc. Nr. SR- 998", Microsoft.
- [22] Vilpas, P., "Kvantatiivinen tutkimus", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://users.metropolia.fi/~pervil/kvantsu/Moniste.pdf>. (Luettu 10.5.2015).
- [23] CMWrun versio 1.7.8, Rohde & Schwarz, osoite saatavilla: <http://www.rohde-schwarz.fi/fi/ota-yhteyttae> (Luettu 31.5.2015)