



TEKNIikka JA LIIKENNE

Tietotekniikka

Tietoliikenne

INSINÖÖRITYÖ

LTE-mittaukset ja -mittalaitteet

**Työn tekijä: Lassi Ajalin
Työn ohjaaja: Yliopettaja
Antti Koivumäki**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2010



ALKULAUSE

Tämä insinööriö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Helsingin yksikölle. Kiitän työn ohjaajia yliopettaja Antti Koivumäkeä ja lehtori Jussi Alhorinnettä. Kiitän myös erityisesti opinto-ohjaaja Marja Koskuaa tuesta ja kannustuksesta opinnäytetyötä tehdessäni sekä koko opiskeluaikani saamastani tuesta.

Helsingissä 03.11.2010

Lassi Ajalin



TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Lassi Ajalin

Työn nimi: LTE-mittaukset ja -mittalaitteet

Päivämäärä: 03.11.2010

Sivumäärä: 31 s. + 3 liitettä

Koulutusohjelma:

Suuntautumisvaihtoehto:

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

Työn ohjaaja: yliopettaja Antti Koivumäki

LTE on neljännen sukupolven (4G) matkapuhelinteknologia, jonka tarkoituksena on kasvattaa matkapuhelinverkkojen datan siirtonopeuksia ja parantaa palveluita. LTE-tekniikan avulla tavoitellaan myös kustannussäästöjä.

Tässä insinööriyössä on perehdytty LTE-teknoologiaan sekä LTE-mittalaitteisiin ja selvitetty, soveltuvatko oppilaitoksen nykyiset mittalaitteet radiorajapinnan LTE-mittaukseen.

Tutkimustyön tuloksena voidaan todeta, että oppilaitoksen nykyiset mittalaitteet eivät sovellu LTE-mittaukseen. Uusimmat LTE-mittauslaitteet ovat vielä kehitysasteella. LTE-verkon mittauslaitteisiin voidaan hankkia lisäohjelmia, joilla päivitetään käytössä oleva mittauslaite. Lisäohjelmia voidaan kuitenkin asentaa vain parin kolmen vuoden ikäisiin mittauslaitteisiin. Tätä vanhempiin mittauslaitteisiin ne eivät sovellu, eikä niitä siksi voida hankkia oppilaitoksen mittalaitteisiin. Uudemmissakin mittalaitteissa on lisäohjelmien hankinnan yhteydessä oltava tietoa myös siitä, kuinka vaativia mittauksia aiotaan tehdä. Lisäohjelmien hankkiminen voi olla kustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto uuden mittalaitteen hankkimiseen verrattuna.

Insinööriyössä selvitettiin LTE-mittalaitteita toimittavilta yrityksiltä mittalaitteisiin liittyviä kustannustietoja, mittalaitteiden ominaisuuksia sekä muita keskeisiä mittalaitteisiin liittyviä tietoja. Tehtyä tutkimustyötä on mahdollista käyttää oppilaitoksessa LTE-mittalaitteiden hankinnan tukena.

Avainsanat: LTE, LTE-mittaus

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	LTE-TEKNOLOGIAN KEHITYS	1
2.1	Matkapuhelinverkkoteknologian kehitys	1
2.2	LTE-tekniikan kehitys	4
3	LTE-TEKNIIKAN TEKNISIÄ RATKAISUJA	9
3.1	Verkkoarkkitehtuuri ja suorituskykyvaatimukset	10
3.2	OFDM-modulointitekniikka	13
3.3	MIMO-monitie-eteneminen	14
3.4	Päätelaitteen Uplink- ja Downlink-tekniikka	15
3.5	Duplex-tiedonsiirtojärjestelmä	18
4	LTE-MITTAUKSET JA -MITTALAITTEET	19
5	YRITYKSILTÄ SAATUA LTE-MITTALAITETIETOA	24
5.1	Anritsun mittalaitteet	25
5.1.1	<i>Kenttämittalaitteet</i>	25
5.1.2	<i>Laboratoriomittalaitteet</i>	27
5.2	Agilentin mittalaitteet	29
6	LTE-MITTALAITTEIDEN VERTAILUA	30
6.1	Laiteominaisuuksien vertailua	30
6.2	Laitteiden kustannusten vertailua	31
7	YHTEENVETO	33

1 JOHDANTO

LTE (Long Term Evolution) on neljännen sukupolven (4G) matkapuhelinteknologia, jonka tarkoituksena on kasvattaa matkapuhelinverkkojen datan siirtonopeuksia ja parantaa palveluita. LTE-tekniikan tavoitteena on saada aikaan myös kustannussäästöjä.

Tässä insinööriyössä perehdytään LTE-teknologiaan sekä LTE-mittalaitteiden toimintaan ja selvitetään, soveltuvatko Metropolia Ammattikorkeakoulun nykyiset mittalaitteet radiorajapinnan LTE-mittaukseen. Mikäli mittalaitteet eivät sovellu mittaukseen, tarvitaan tietoa tähän soveltuvien mittalaitteiden ominaisuuksista ja kustannuksista. Insinööriyössä selvitetään LTE-mittalaitteita toimittavilta yrityksiltä mittalaitteisiin liittyviä kustannustietoja, mittalaitteiden ominaisuuksia sekä muita keskeisiä mittalaitteisiin liittyviä tietoja.

Tehdyn tutkimuksen perusteella on mahdollista ratkaista, mistä tarvittavat LTE-mittalaitteet voitaisiin hankkia kustannustehokkaimmin ja miten LTE-mittalaitteita voidaan käyttää oppilaitoksessa opetuksen tukena.

2 LTE-TEKNOLOGIAN KEHITYS

2.1 Matkapuhelinverkkoteknologian kehitys

Matkapuhelinverkkojen kehittyminen alkoi 1980-luvun alussa, jolloin käytössä olivat ensimmäisen sukupolven 1G-teknologiat. Ensimmäisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmissä käyttäjällä oli mahdollisuus säilyttää puhelu-yhteys liikkueessaan eri tukiasemien välillä. Yhteys siirtyi tukiasemasta toiseen.

1G-matkapuhelinteknologia on analoginen standardi. 1G-teknologiassa käytettiin FDMA-taajuusjakokanavointia (Frequency Division Multiple Access). FDMA on yksinkertainen radiotien kanavanvarustekniikka. Sen toteutuksessa käytettävä taajuusalue jaetaan osa-alueisiin, joista käyttäjälle annetaan yksi alue yhteyden ajaksi. FDMA:ssa syötettävä data voi olla joko analogista tai digitaalista; signaali on aina analogista johtuen moduloinnista. FDMA:n haittana on kaistan tuhlaaminen. Yhteydelle annettu kanava on varattu, vaikka dataa ei liikkuisikaan.

NMT oli maailman ensimmäinen täysautomaattinen matkapuhelinverkko. Se tarjosi myös ensimmäisenä matkapuhelinverkkona mahdollisuuden verkkovierailuun, eli se mahdollisti esimerkiksi suomalaisen puhelimen ja liittymän käytön Ruotsissa. Suomessa ensimmäisen sukupolven järjestelmä NMT lopetettiin vuonna 2002, jolloin GSM:stä tuli yleisin matkapuhelinteknologia.

Toisen sukupolven 2G-matkapuhelinteknologiat ovat digitaalisia. GSM on 2G-teknologioista suosituin standardi, ja siihen perustuvia verkkoja onkin kaikilla mantereilla ja lähes kaikissa maissa. 1990-luvun alussa kaikissa verkoissa ei ollut datayhteyksiä. Aluksi niitä kehitettiin piirikytkentäisin menetelmin (esimerkiksi HSCSD, High Speed Circuit Switched Data) ja myöhemmin pakettikytkentäisin menetelmin (GPRS, General Packet Radio Service).

Suorituskyvyn parantamiseksi 2G-teknologiaan kehitettiin myöhemmin niin sanottuja 2,5G-laajennuksia, kuten EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) ja EGPRS (Enhanced GPRS).

Kolmannen sukupolven 3G-matkapuhelinteknologia kehitettiin, koska matkapuhelinjärjestelmän haluttiin tukevan suuria bittinopeuksia. Niiden tuli myös mahdollistaa liikkuvuus sekä käyttö- ja laskutustietojen vaihtaminen operaattoreiden välillä. Matkapuhelinjärjestelmän haluttiin tukevan myös päätelaitteiden maantieteellisen sijainnin määrittelyä, ja niiden tuli tukea multimediaspalveluita.

Euroopassa yleisin standardi UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on kolmannen sukupolven (3G) matkapuhelinteknologia. UMTS on suunniteltu myös datansiirtoon. UMTS-verkon tavoitteena oli saada muun muassa äänen laatu ja palvelut samalle tasolle, kuin ne ovat kiinteässä verkossa. Tavoitteena oli myös tuki piiri- ja pakettikytkentäiselle tiedonsiirrolle sekä radiokaistan mahdollisimman tehokas käyttö. 3G tarjoaa myös paikannuspalveluja, jotka tulevat kehittymään 4G-teknologian myötä.

4G-tekniologia on kehitystyön alla. 4G tulee todennäköisesti olemaan yhdistelmä erilaisia verkkoja, joissa 3G, GSM, WLAN (Wireless Local Area Network), VoIP (Voice over Internet Protocol) ja muut järjestelmät yhdistetään virtuaaliseksi verkoksi, jonka kautta tarjotaan IP-pohjaisia palveluja. 4G-tekniologiassa luodaan käyttäjille palveluja, joita on mahdollista käyttää kaikkialla. 4G:n myötä tulevat mahdollisiksi myös laadukkaat mobiililaitteiden audio-visuaaliset lähetykset.

Taulukossa 1 on selvitetty matkapuhelinstandarddeja ja niiden kehitystä.

Taulukko 1. Matkaviestintästandardit [2]

v · d · e		Mobile telephony and mobile telecommunications standards	
0G (radio telephones)		MTS • MTA • MTB • MTC • IMTS • MTD • AMTS • OLT	
1G		NMT • AMPS • Hicap • CDPD • Mobitex • DataTAC • TACS • ETACS	
2G	GSM/3GPP family	GSM • GPRS	
	3GPP2 family	CDMAOne (IS-95)	
	Other	D-AMPS (IS-54 and IS-136) • iDEN • PDC • PHS	
2.5G	GSM/3GPP family	GPRS • HSCSD	
	iDEN family	iDEN	
2.75G	GSM/3GPP family	EDGE/EGPRS	
	3GPP2 family	CDMA2000 1xEV-DO (IS-2000)	
3G (IMT-2000)	3GPP family	UMTS (UTRAN) • WCDMA-FDD • WCDMA-TDD • UTRA-TDD LCR (TD-SCDMA)	
	3GPP2 family	CDMA2000 1xEV-DO (IS-856)	
3.5G	3GPP family	HSDPA • HSUPA	
	3GPP2 family	EV-DO Rev. A	
3.75G	3GPP family	HSPA+	
	3GPP2 family	CDMA2000 3x (EV-DO Rev. B)	
3.9G (Pre-4G)	3GPP family	3GPP LTE (E-UTRA)	
	Other	Mobile WiMAX (IEEE 802.16e-2005) • Flash-OFDM • IEEE 802.20	
4G (IMT-Advanced)	3GPP family	LTE Advanced	
	WiMAX family	IEEE 802.16m	
Related articles		History • Comparison of standards • List of standards • Spectral efficiency comparison table • Cellular frequencies • Cellular network theory • Mobile broadband	

LTE (Long Term Evolution) on 4G-matkapuhelintekniologia, jonka tarkoituksena on kasvattaa matkapuhelinverkkojen datan siirtonopeuksia ja parantaa palveluita sekä saada aikaan myös kustannussäästöjä.

Tavoitteena on siirtää analoginen radiopuhelinliikenne LTE-verkkoon. LTE:n myötä radiopuhelinliikenne saa monia uusia mahdollisuuksia, kuten kaistanleveyden videonsiirtoon esimerkiksi onnettomuustilanteissa maanteilla. [19.]

4G-matkapuhelinverkko on mahdollista kääntää nykyiseen matkapuhelinverkkoon, mutta 4G-tekniikan avulla päästään myös IP-pohjaiseen verkkoon. Tavoitteena on, että kaikki toiminta olisi yhdessä verkossa. IPv6 on IP-pohjaisen verkon protokollaversio. Jokaisella laitteella maailmassa on yksilöllinen IP-osoite, joka mahdollistaa täysin IP-pohjaisen viestinnän mobiililaitteella. Jos 4G on toteutettu oikein, se on yhdenmukaistanut maailmanlaajuiset verkkovierailut ja erittäin nopeat yhteydet. LTE-tekniikkaan syvennytään yksityiskohtaisemmin seuraavassa luvussa.

2.2 LTE-tekniikan kehitys

LTE-tekniikan avulla pyritään tarjoamaan yhä suurempaa siirtonopeutta ja kapasiteettia tietokoneiden langattomia yhteyksiä ja älypuhelimia varten.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) on matkapuhelinjärjestelmien jatkokehityksestä vastaava eri standardijärjestöjen yhteenliittymä. Kehitystyössä ovat mukana Euroopan, Yhdysvaltojen, Japanin, Korean sekä Kiinan standardointijärjestöt. Yhteistyön myötä voidaan taata valmistuville standardeille laajapohjainen hyväksyntä. [18.]

3GPP:ssä aloitettiin LTE:n kehitystyö vuonna 2004, jolloin alettiin tehdä 2010-luvun matkapuhelinjärjestelmän vaatimusmäärittelyä. Tavoitteeksi asetettiin pakettimuotoiseen tiedonsiirtoon optimoitu järjestelmä, joka saavuttaa vähintään 100 megabitin tiedonsiirtonopeuden aikaisempaa pienemmin viivein. Määrittelytyössä päätettiin, että järjestelmän tulee soveltua käytettäväksi eri kaistaleveyksillä 1,4 megahertsistä 20 megahertsin saakka. Jotta tavoitteet voidaan saavuttaa ja jotta järjestelmän kustannukset eivät nouse liian korkeiksi, tehdyn määrittelytyön pohjalta todettiin, että järjestelmän toteuttaminen edellyttää uutta radiotekniikkaa sekä uutta verkkoarkkitehtuuria. [18.]

Japanin suurin matkapuhelinoperaattori NTT DoCoMo on kehittänyt 4G:tä jo vuodesta 1998. Japani, Kiina ja Etelä-Korea ovat sopineet kehittävänsä neljännen sukupolven teknologiaa yhdessä. Nämä kolme maata muodostavat yhdessä noin kolmasosan koko maailman matkapuhelinmarkkinoista. Kaupallisten markkinoiden toivotaan avautuvan 2010. Myös kaksi suurta matkapuhelinvalmistajaa, Nokia ja Samsung, toimivat yhteistyössä kehittääkseen 4G-standardia ja 4G-matkapuhelimia. Intia aikoo siirtyä 2G:sta suoraan 3G:n yli 4G:hen, koska maan IT- ja kommunikaatioministerin mukaan 3G on kehittynyt, mutta se ei ole kustannustehokas.

3GPP Release 8 on LTE-standardi, jolla voidaan mahdollistaa jopa satojen megabitien maksimitiedonsiirtonopeus. Tämä standardi valmistui maaliskuussa 2009. LTE Release 8 -standardin ominaisuuksia on havainnollistettu taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. LTE Release 8:n ominaisuuksia [5]

Access Scheme	UL	DFTS-OFDM
	DL	OFDMA
Bandwidth	1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz	
Minimum TTI	1msec	
Sub-carrier spacing	15kHz	
Cyclic prefix length	Short	4.7µsec
	Long	16.7µsec
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	
Spatial multiplexing	Single layer for UL per UE Up to 4 layers for DL per UE MU-MIMO supported for UL and DL	

Standardin ominaisuuksina ovat muun muassa korkea spektritehokkuus (OFDM on häiriösietoinen ja monitiehäiriöiltä suojattu), erittäin alhainen latenssi, vaihtelevan kaistanleveyden tuki (1.4, 3, 5, 10, 15 ja 20 MHz), yksinkertainen protokolla-arkkitehtuuri, yhteensopivuus muiden 3GPP-julkaisujen kanssa sekä tehokas Multicast-lähetys. Viimeksi mainittu mahdollistaa videoiden ja streaming-kuvien lähetyksen sekä videoneuvottelujen toteuttamisen.

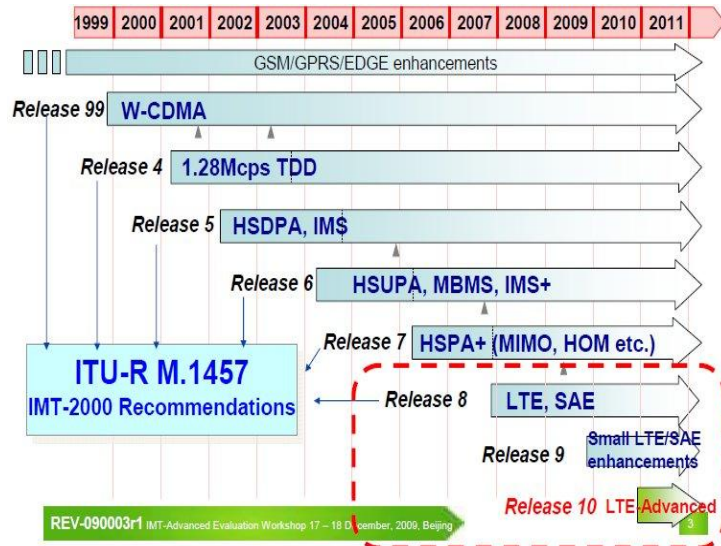
Taulukko 3. LTE Release 8:n matkaviestinlaitekategoriat [5]

Category		1	2	3	4	5
Peak rate Mbps	DL	10	50	100	150	300
	UL	5	25	50	50	75
Capability for physical functionalities						
RF bandwidth		20MHz				
Modulation	DL	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	UL	QPSK, 16QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM
Multi-antenna						
2 Rx diversity		Assumed in performance requirements.				
2x2 MIMO		Not supported	Mandatory			
4x4 MIMO		Not supported				Mandatory

Alkuvaiheessa LTE-verkkoa voidaan käyttää pelkästään datansiirtoon. Myöhemmässä vaiheessa, kun LTE-yhteensopivia päätelaitteita on enemmän markkinoilla, on mahdollista siirtää puhepalvelukin LTE-verkkoon. [18.] Suomalainen operaattori Finora ilmoitti vuonna 2009 olevansa puhtaasti 4G-operaattori ja tarjoavansa maksuttomia internetpuheluita. Finora Oy on mobiilioperaattori, joka tarjoaa 3G- ja WLAN-yhteyteen perustuvia VoIP-puheluita sekä perinteisiä matkapuhelinliittymiä yksityis- ja yritysasiakkaille. Aikaisemmin VoIP-tekniikkaa on tarjottu vain lähinnä yrityksille ja yhteisöille, mutta Finora tuo VoIP-puhelut myös yksityiskuluttajien ulottuville.

Release 9 -päivityksessä keskitytään välttämättömiin parannuksiin, kuten hätäpuheluiden tukemiseen sekä niihin liittyvään paikannukseen. Huippudatanopeuksia ei pyritä lisäämään Release 9 -päivityksessä. [18.]

Kuvassa 1 on esitetty 3GPP:n julkaisuaikataulu. LTE:n kehitys jatkuu kohti seuraavaa vaihetta, jonka tavoitteena on gigabitin tiedonsiirtonopeus. Tämä kehitystyö tunnetaan nimellä LTE-Advanced.



Kuva 1. 3GPP:n julkaisuaikataulu [8]

Release 9 -päivityksen valmistuttua keskitytään LTE-Advanced-tekniikan määrittelyyn. Tähän liittyvät Release 10 -määritykset valmistunevat vuonna 2011. Tavoitteena on päättää, mitä eri tekniikoita tullaan sisällyttämään lopulliseen Release 10 -standardiin. Koska suuret datanopeudet vaativat myös paljon kaistaa, Release 10:ssä on tavoitteena tukea eri taajuusalueiden samanaikaista käyttöä. [18.]

Tavoitteena on, että myös tukiasemien välistä koordinoitua ja signaalointia kehitetään, jotta solujen välistä häiriötä saadaan vähennettyä. Myös antennien keilanmuodostuksen koordinoitua eri tukiasemien välillä sekä useiden tukiasemien samanaikaista datalähetystä yksittäiselle käyttäjälle tutkitaan. [18.]

Edellä mainittujen lisäksi LTE-Advanced-työssä pyritään huomioimaan myös erilaisten verkkorakenteiden sujuva yhdistäminen. Tällä hetkellä on määritetty tukiasematoiminteet mastoon ja katolle asennettaville tukiasemille sekä tehdään vaatimuksia niin sanotuille kotitukiasemille. Erilaisten käyttötapojen yhteensovittamiseksi sekä etenkin käytöstä aiheutuvien häiriöiden hallitsemiseksi tarvitaan lisää menetelmiä, jotta paikallisesti asennettu kotitukiasema tai toistin eivät aiheuta verkkoon aukkoa toisaalle. [18.]

3GPP:n itsearviointihankkeiden IMT-Advanced-ehdotus on valmis, ja jäsenvaltioiden järjestöt ovat vakuuttuneita siitä, että LTE-Advanced täyttää kaikki tekniikalle asetetut vaatimukset (IMT-Advanced).

IMT-Advanced-järjestelmän ominaisuuksia [8]:

- maailmanlaajuinen toimivuus ja nopeus
- yhteensopivuuspalvelut ja yhteentoimivuus muiden radiopääsyjärjestelmien kanssa
- datanopeuksia tukemassa kehittyneitä palveluja ja sovelluksia (100 Mbit/s korkea ja 1 Gbit/s alhainen liikkuvuus).

Matkapuhelinten LTE-verkkoja on jo maailmalla esikaupallisessa käytössä. Myös Suomessa niitä ollaan ottamassa käyttöön. [17.] LTE on Suomessa osa laajakaistaohjelmaa, jonka tavoitteena on tarjota 100 megabitin siirtonopeuksia koko maassa vuoteen 2015 mennessä. [18.]

Turku on ensimmäinen kaupunki Suomessa, jossa toimii neljännen sukupolven mobiiliverkko. Sonera päättää loppuvuonna 2010, milloin se avaa verkon Suomessa kaupalliseen käyttöön. Telekonserni Sonera hankkii kokemuksia 4G-verkosta ja palveluista Turussa. Teleoperaattori avaa kaupungissa 4G-koeverkon. Sonera on rakentanut kaupunkiin seitsemän tukiasemaa. Verkko kattaa Aurajoen rannat ja keskusta-alueen. Koekäyttäjiä Turun verkolla on aluksi parikymmentä. Heillä on samanlaiset päätelaitteet kuin emoyhtiön 4G-asiakkailta Tukholmassa ja Osllossa. Ruotsissa ja Norjassa telekonsernin 4G-verkko tuli kaupalliseen käyttöön joulukuussa. [16.]

Turusta saadut kokemukset ratkaisevat, milloin Sonera avaa 4G-verkon kaupalliseen käyttöön Suomessa. Palveluita ja päätelaitteita ei saa Turussa vielä mistään Soneran kaupasta. Verkkoon pääsevät ainoastaan koekäyttäjät. Verkon kaupallista avaamista on jarruttanut 4G-kännyköiden puuttuminen markkinoilta. Yhteydet hoituvat Turussa tietokoneelta, johon pitää asentaa erillinen Samsungin 4G-modeemi. Turun koeverkon avajaistilaisuudessa osallistujat pääsivät näkemään 4G-verkossa välitettyä oopperalähetystä. Verkko ylittää enimmillään 100 megan nopeuteen. Verkkoa voivat käyttää muun muassa koulut ja vanhainkodit. 4G-verkon ansiosta kaupungin tiloihin ei tarvitse rakentaa kiinteää verkkoa. Lähetykset hoituvat nopeiden langattomien tiedonsiirtoyhteyksien avulla. [16.]

Seuraavassa luvussa perehdytään tarkemmin LTE-tekniikan teknisiin ratkaisuihin.

3 LTE-TEKNIIKAN TEKNISIÄ RATKAISUJA

LTE-tekniikan hyötyinä ovat muun muassa seuraavat asiat:

- Suuri siirtonopeus alentaa kustannuksia: halvempi hinta bittiä kohden.
- Palvelutaso paranee: enemmän palveluja edullisemmin.
- Käyttö on joustavaa: yhteensopivuus nykyisten ja uusien taajuusalueiden kanssa.
- Arkkitehtuuri on yksinkertainen, ja rajapinnat ovat avoimia.
- Päätelaitteiden virrankulutus on vähäisempi.

Jotta määritellyt tavoitteet voidaan saavuttaa ja järjestelmän kustannukset eivät nouse liian korkeiksi, LTE-järjestelmän toteuttaminen edellyttää uutta radioteknologiaa sekä uutta verkkoarkkitehtuuria [18].

Release 8:ssa on määritelty viisi päätelaiteluokkaa radiokyvyyden perusteella. Kaikissa LTE-päätelaitteissa tulee olla kaksi antennia ja vastaanotinketjua. LTE-pääteasemat pystyvät vastaanottamaan lähetystä sekä yhdellä, kahdella että neljällä antennilla varustetuista tukiasemista. [18.]

LTE-radioverkossa on vain yksi verkkoelementti eli tukiasema. 3GPP:ssä on tukiasemana eNodeB. SAE-yhdyskäytävä (System Architecture Evolution Gateway) hallitsee runkoverkossa käyttäjän dataa. MME (Mobility Management Entity) on liikkuvuuden hallintayksikkö, joka hoitaa käyttäjän liikkuvuuden signalointia. [18.]

Kaikki palvelut perustuvat LTE:ssä pakettikytkentäiseen tekniikkaan. Myös puhe kulkee pakettidatana eli VoIP-palveluna (Voice over IP). Puhelunohjaamiseen voidaan käyttää IMS-järjestelmää (IP Multimedia Subsystem). Se on mahdollista toteuttaa nykyiseen piirikytkentäiseen runkoverkkoon pelkällä ohjelmistopäivityksellä. [18.]

3.1 Verkkoarkkitehtuuri ja suorituskykyvaatimukset

3GPP LTE:n avulla matkapuhelinverkkojen tekniikkaa on mahdollista kehittää vuoteen 2017 mennessä niin, että ne mahdollistavat paljon nykyistä suuremmat nopeudet sekä pienemmän paketin viiveen. Taulukossa 4 on esitetty LTE-verkon suorituskykyvaatimuksia. ITU 3GPP 25.913 -määrittysten mukainen LTE-verkko hyödyntää jopa 3 - 4 kertaa paremmin radiospektriä kuin nykyisten 3G-verkkojen HSDPA-tekniikka ja 2 - 3-kertaisesti kuutostason HSUPA-tekniikkaan nähden. [17.]

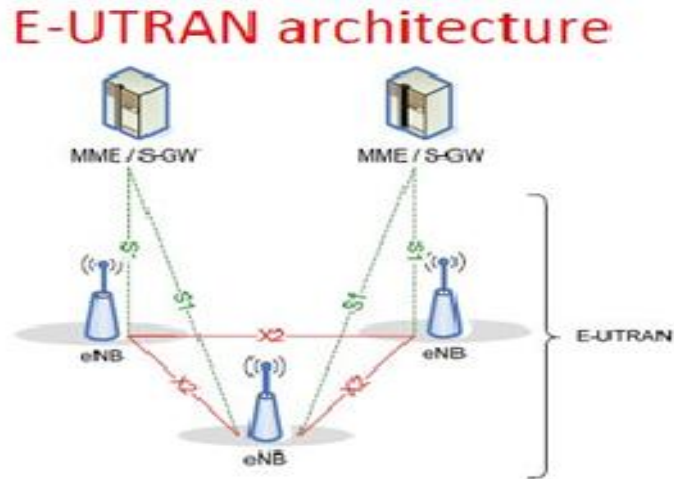
Taulukko 4. LTE-verkon suorituskykyvaatimukset [17]

MITATTAVA SUURE	VAATIMUS
Huippudatanopeus alalinkkiin	100 Mb/s, 20 MHz:n kaistassa
Huippudatanopeus ylälinkkiin	50 Mb/s, 20 MHz:n kaistassa
Käyttäjätason viive	< 5 ms
Merkinantotason viive, kun tila muuttuu aktiiviseksi	< 100 ms
Kaistanleveys	Määritettävissä 1,25 – 2,5 – 5 – 10 – 15 – 20 MHz
Terminaalin nopeus	< 500 km/h

LTE-tekniikka on rakenteeltaan aikaisempia matkaviestinverkkoja yksinkertaisempi, koska verkkoelementtien toimintoja on keskitetty ja niiden lukumäärää on vähennetty. LTE yksinkertaistaa aiempia verkkoarkkitehtuureja käyttämällä vain minimimäärän elementtejä. LTE-verkko on tyypiltään tasarkkitehtuuria (flat architecture). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjän datayhteyskerroksella on käytössä sekä radioverkossa että kiinteässä verkossa ainoastaan yksi elementtityyppi. [17.]

LTE (Long Term Evolution) -hankkeessa keskityttiin parantamaan UTRANia (Universal Terrestrial Radio Access). Tavoitteena oli saada aikaan keskimääräisesti tehokkaampi siirtonopeus, joka olisi 3 - 4 kertaa nopeampi kuin Release 6 HSDPA (suunta: downlink eli 100 Mbps) ja 2 - 3 kertaa nopeampi kuin HSUPA (suunta: uplink eli 50 Mbps). [3.]

Vuonna 2007 LTE ja E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) etenivät toteutettavuustutkimuksen vaiheessa niin pitkälle, että ensimmäiset tekniset tiedot hyväksyttiin 2008 loppuun mennessä ja tekniset tiedot ovat riittävän vakaat kaupalliseen toteutukseen [3]. Kuvassa 2 on havainnollistettu E-UTRANin rakennetta.



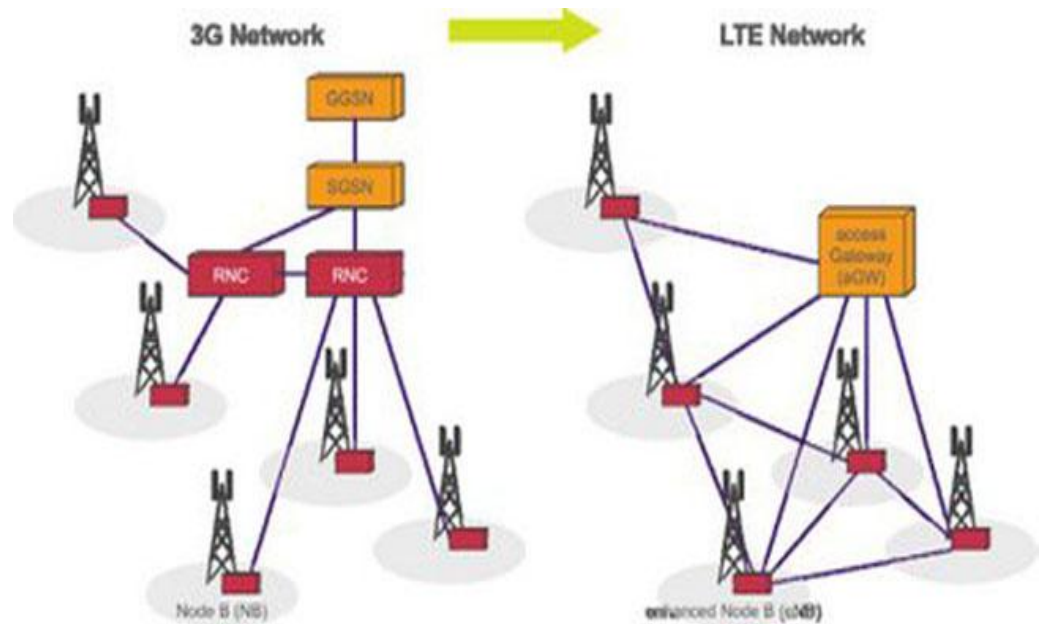
Kuva 2. E-UTRAN-arkkitehtuuri [8]

E-UTRAN käyttää useita määriteltyjä kanavan kaistanleveyksiä välillä 1,25 ja 20 MHz [3].

Taulukko 5. LTE:n kehitystavoitteet [7]

	WCDMA (UMTS)(3G) koordinoidusta	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Max downlink-nopeus bps	384 K	14 M	28 M	100 M
Max uplink-nopeus bps	128 K	5.7 M	11 M	50 M
Saantiviive edestakainen aika noin	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP-tiedotteet	Rel 99 / 4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Alustava levitysvuosi	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Pääsymenetelmät	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA

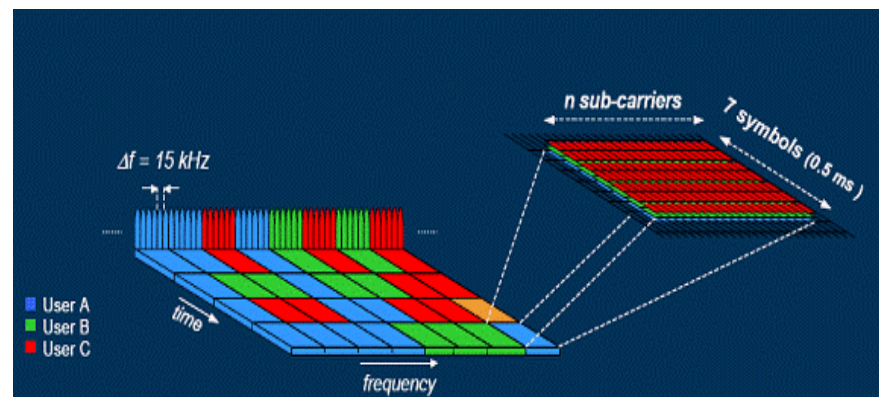
Taulukossa 5 on esitetty LTE:n kehitystavoitteita. LTE:n määrittelyn yhtenä tavoitteena oli yksinkertaistaa verkkoarkkitehtuuria. LTE parantaa taajuustehokkuuden jopa kaksin- tai kolminkertaiseksi HSPA-tekniikkaan verrattuna. Kuvassa 3 on havainnollistettu, miten LTE-verkko eroaa 3G-verkosta.



Kuva 3. 3G-verkon ja LTE-verkon eroja [11]

LTE:ssä tarvitaan vähemmän laitteita, jolloin verkkojen rakentaminen ja ylläpito on helpompaa ja edullisempää. Tukiasemien välille ei tarvita erityistä yhteyttä, vaan ne voidaan yhdistää joko kaapelilla tai langattomasti.

Spektrin tehokkuus kasvaa jopa nelinkertaiseksi verrattuna UTRAAan. Tämä on parannus arkkitehtuuriin ja vähentää signaalin edestakaista viivettä [4].



Kuva 4. OFDMA (Downlink): tukiaseman lähettämät tiedot käyttäjille [10]

Kuvassa 4 on havainnollistettu tukiaseman käyttäjälle lähettämiä tietoja. Kolme käyttäjää ottaa oman paketin varausyksikön mukaan. Samaa asiaa on havainnollistettu hieman eri näkökulmasta kuvissa 8, 9 ja 12.

LTE-tekniikassa tavoiteltuihin siirtonopeuksiin voidaan päästä vain erittäin hyvissä kanavaolosuhteissa. Siirtonopeutta rajoittavat verkossa esimerkiksi naapurisolusta tulevat häiriöt sekä vastaanottimen lämpökohina. LTE-tekniikalla voidaan tarjota loppukäyttäjälle makrosoluverkoissa muutamien kymmenien megabittien siirtonopeuksia, mikä on huomattavasti enemmän kuin ADSL-ratkaisuilla voidaan toteuttaa. [18.]

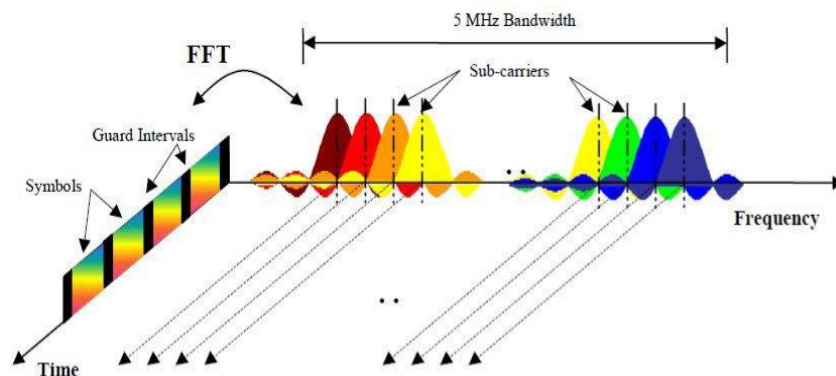
LTE-teknologiassa käytetään OFDM-modulointitekniikkaa, MIMO-monitie-etenemistä ja Duplex-tiedonsiirtojärjestelmää. Näihin perehdytään tarkemmin seuraavissa luvuissa.

3.2 OFDM-modulointitekniikka

LTE:n määrittelyssä on haluttu välttää 3G-järjestelmän ongelmia. LTE:hen valittiin downlink-tekniikaksi perinteinen OFDMA-monikanta-aaltotekniikka (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), jossa käytetään kapeita, 15 kilohertsin välein sijoitettavia kanta-aaltoja. OFDMA-tekniikkaa käytetään esimerkiksi langattomissa lähiverkoissa sekä digitaalisissa TV-lähetysissä. [18.]

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) on taajuuskaistalomitukseen perustuva tekniikka, jolla kyetään samaan aikaan lähettämään tietoa usealla kanta-aaltotaajuudella. OFDM on laajakaistainen siirtotekniikka, ja se on ihanteellinen käytettäväksi esim. MIMOn (Multiple Input Multiple Output) yhteydessä.

Kuvassa 5 on havainnollistettu OFDM:n toimintaperiaatetta.



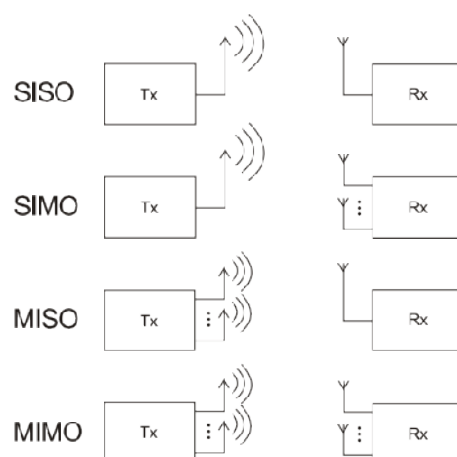
Kuva 5. OFDM-monikanta-aaltotekniikan toimintaperiaate [15]

Nykyisin käytössä olevat OFDM-menetelmät perustuvat diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen (IDFT, Inverse Discrete Fourier Transform). OFDM-tekniikka on sisällytetty LTE:hen, koska se mahdollistaa suuren datakaistanleveyden ja koska se tarjoavaa suurta joustavuutta sekä poistaa heijastuksia ja häiriöitä.

3.3 MIMO-monitie-eteneminen

LTE:n radiotekniikat soveltuvat hyvin myös usean lähetyksantennin käyttöön (MIMO, Multiple Input Multiple Output). Kaikki verkon tukiasemat käyttävät LTE-verkossa samaa taajuutta. LTE-yhteyksissä voidaan käyttää sekä taajuusjakoista (Frequency Division Duplex) että aikajakoista (Time Division Duplex) dupleksointia. [18.]

Kuvassa 6 on havainnollistettu eri antennimenetelmiä. Perinteisessä SISO (Single Input Single Output) -antennimenetelmässä yhdestä antennista lähetetään tietoa toiseen antenniin. SIMO (Single Input Multiple Output) -antennimenetelmässä tietoa lähetetään yhdestä antennista, ja tieto vastaanotetaan useasta antennista. MISO (Multiple Input Single Output) -antennimenetelmässä tietoa lähetetään useammasta antennista ja vastaanotetaan yhdestä antennista. MIMO-tekniikalla tarkoitetaan tietoliikente-tekniikkaa, jossa sekä lähetykseen että vastaanottoon käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia. MIMO-tekniikkaa voidaan hyödyntää pääasiassa kahdella eri tavalla: maksimoidaan tiedonsiirtonopeus tai parannetaan tiedonsiirron luotettavuutta. LTE-tekniikka tukee myös monen käyttäjän MIMO-tekniikkaa.



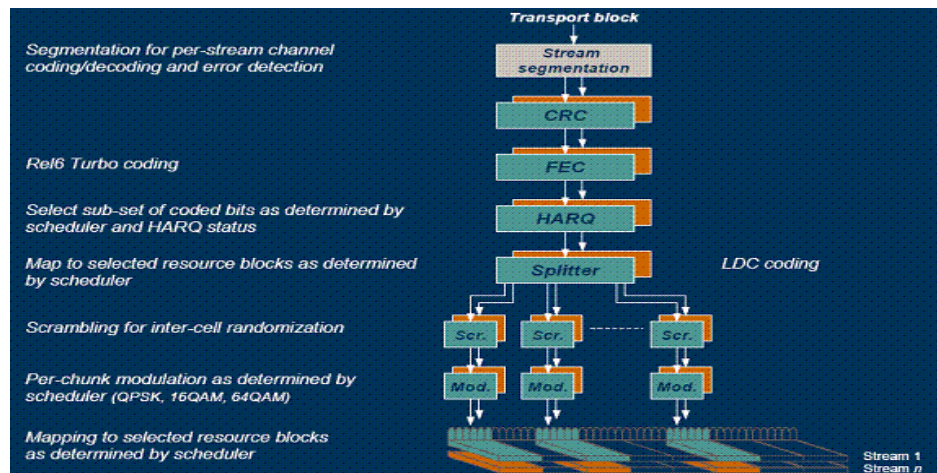
Kuva 6. Useamman antennin konfiguraatiot [14]

MIMO-antennitekniikka voi mahdollistaa 10-kertaisen määrän käyttäjiä solua kohden verrattuna alkuperäiseen WCDMA-radiotekniikkaan. Monen taajuusalueen järjestelyt pitää saada mahdollisimman sopiviksi sekä pariksi (FDD) ja parittomiksi (TDD), jotta ne toimivat yhteen. LTE:tä voidaan käyttää rinnakkain aikaisempien 3GPP-radiotekniikoiden kanssa, myös vierekkäisiä kanavia. Puhelut voidaan hoitaa kaikkien 3GPP:n aiempien radiotekniikoiden avulla. Samalla kun on kehitetty LTE:tä, 3GPP:n runkoverkossa on käynnissä SAE:n (System Architecture Evolution) kehitys. Optimoimalla se pakettiin tilaan ja sovittamalla se erityisesti IMS:ään, tuetaan kaikkia tekniikoita. [4.]

Heijastukset ovat olleet aikaisempien tietoliikennejärjestelmien suurimpia ongelmia. Käyttämällä MIMO-tekniikkaa (ylimääräiset signaalitiet) voidaan käyttää heijastukset hyödyksi ja lisätä suorituskykyä. MIMO-tekniikkaa käytettäessä on tarpeen käyttää useita antennia. Näin antenni erottaa eri polut. Järjestelmä käyttää 2 x 2, 4 x 2 tai 4 x 4 -antennien matriiseja. Uusia antennia on suhteellisen helppo lisätä tukiasemaan, mutta sama ei päde matkapuhelimiin, jonka mitat rajoittavat antennien lukumäärää, koska antennilla on oltava vähintään puoli aallonpituutta eroa toisistaan.

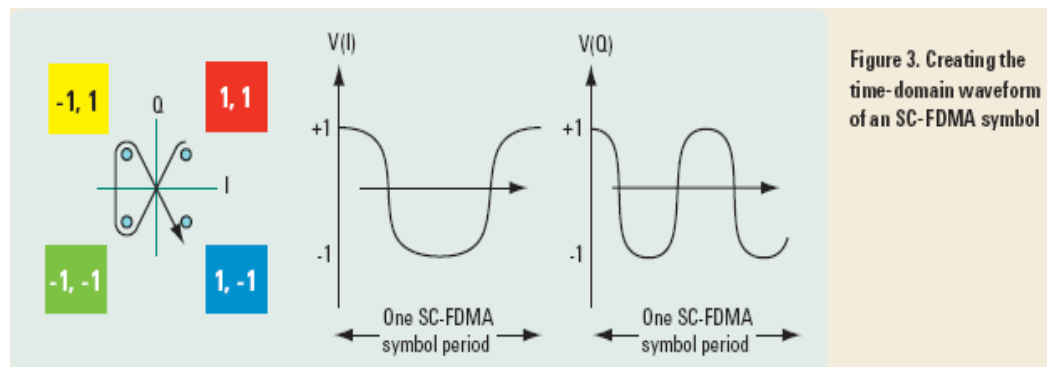
3.4 Päätelaitteen Uplink- ja Downlink-tekniikka

LTE-verkon päätelaitteen Uplink-tekniikaksi on valittu SC-FDMA-tekniikka (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Se on OFDMA-pohjainen menetelmä eli yhden kanta-aallon lähetys, jossa resurssit käyttäjien kesken jaetaan taajuustasossa. Kantataajuinen monikanta-aaltosignaali muutetaan ennen lähetystä DFT-operaation (Discrete Fourier Transform) avulla yhdeksi kanta-aalloksi. SC-FDMA:n tehosuhte on pieni, eli se säästää akun tehoa. Downlinkiksi on valittu OFDM. [18.] Kuvassa 7 on havainnollistettu Downlink-toimintasiirtoa, ennen kuin radiosignaali lähetetään. Ensin dataan lisätään virheen korjaus, sen jälkeen data tiivistetään, jaetaan osiin, moduloidaan ja lopuksi se lähetetään.



Kuva 7. Downlink-toimintasiirto [10]

Kuvassa 8 on havainnollistettu QPSK-modulaatiota.



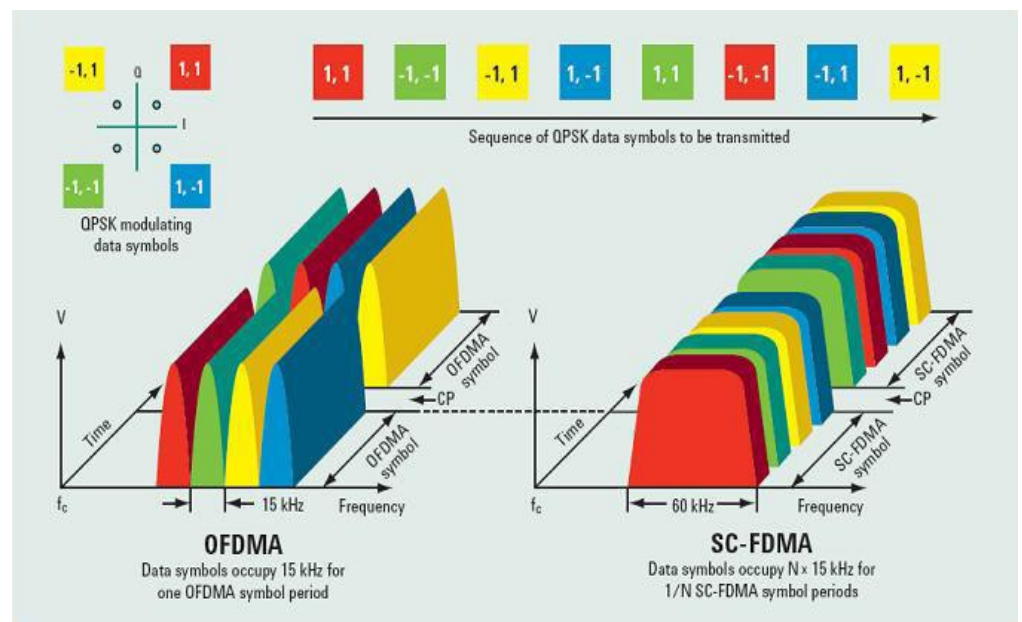
Kuva 8. QPSK-modulaatio [10]

Leveän kaistan (20 MHz), korkeatasoisen modulaation (64QAM) ja moniantennilähetyksen (MIMO) ansiosta LTE-tekniikalla voidaan tarjota korkeita datanopeuksia. Datanopeus kasvaa kaistaleveyden suhteessa. Siirtonopeus saadaan maksimoitua käyttämällä 16QAM- ja 64QAM-modulaatioita sekä lähettämällä useista antennista rinnakkaisia datavirtoja. [18.]

Taulukko 6. LTE:n ominaisuuksia

Max. downlink-nopeus Mbps , 64QAM	100 (SISO), 172 (2x2 MIMO), 326 (4x4 MIMO)
Max. uplink-nopeus Mbps	50 (QPSK), 57 (16QAM), 86 (64QAM)
Verkkotyyppi	Puhtaasti pakettikytkentäinen
Kanavan kaistanleveys (MHz)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Duplex-järjestelmät	FDD ja TDD
Liikkuvuus	0 - 15 km / h (optimoitu), 15 - 120 km / h (High Performance)
Saantiviive	Idle aktiiviseen alle 100ms Pienet paketit ~ 10 ms
Taajuuksien käytön tehokkuus	Downlink: 3 - 4-kertainen verrattuna Rel 6 HSDPA Uplink: 2 - 3-kertainen verrattuna Rel 6 HSUPA
Pääsyn järjestelmät	OFDMA (Downlink) SC-FDMA (Uplink)
Modulation tuetut tyypit	QPSK, 16QAM, 64QAM (Uplink and downlink)

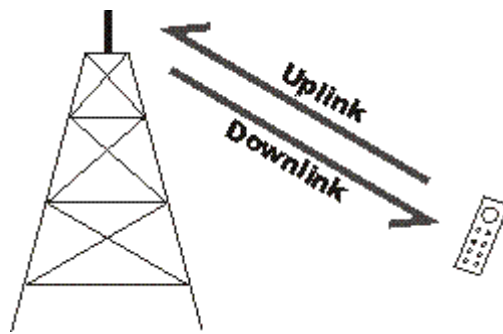
Kuvassa 9 on havainnollistettu LTE-siirtomenetelmää. Eri värit ovat eri käyttäjiä, eli tässä tapauksessa on neljä käyttäjää, jotka keskustelevat tukiaseman kanssa. Kuvasta voidaan huomata, että käyttäjät eivät ole aina samassa paikassa. Siksi käytetään varausmenetelmää, jonka avulla tieto voi olla missä tahansa tukiaseman määräämällä alueella.



Kuva 9. OFDMA:n ja SC-FDMA:n eroja [10]

3.5 Duplex-tiedonsiirtojärjestelmä

Käytännön kannalta on tärkeää, että käytetty soluviestintä pystyy toimittamaan tietoa molempiin suuntiin samanaikaisesti. Duplex-järjestelmän avulla lähetin ja vastaanotin voidaan järjestää niin, että ne voivat sekä lähettää että vastaanottaa ja tehdä sen samanaikaisesti. On myös tärkeää, että kommunikaatiossa pystytään määrittämään tiedonsiirron erilaiset suunnat, jotta voidaan tunnistaa, mihin suuntaan (Uplink tai Downlink) siirto on tehty. Uplink tarkoittaa tiedon siirtoa käyttäjän laitteista tukiasemaan. Downlink tarkoittaa tiedon siirtoa tukiasemasta käyttäjien laitteisiin (kuva 10).



Kuva 10. Siirtosuunnat [7]

Jotta dataa voidaan siirtää molempiin suuntiin, käyttäjän laitteen tai tukiaseman on oltava duplex-järjestelmässä. On olemassa kaksi eri duplex-järjestelmää, joita käytetään yleisesti: FDD (Frequency Division Duplex) ja TDD (Time Division Duplex).

Järjestelmien eroja sekä laiteparien kustannuksia, suoja-aikaa, siirtoja ja häiriöitä selvitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. TDD-järjestelmän ja FDD-järjestelmän vertailua [7]

	LTE-TDD	LTE-FDD
Kaistan käyttö	§ Vain yksi kaista, koska sekä lähettäminen että vastaanottaminen tapahtuu samalla kanavalla	§ Edellyttää kahta kaistaa, jossa taajuudet ovat riittävän erillään mahdollistaakseen samanaikaisen lähettämisen ja vastaanottamisen.
Laitteiston kustannukset	§ Pienemmät kustannukset, koska diplexeriä ei tarvita eristämään lähetintä ja vastaanotinta § Päätelaittekustannusten huomioon ottaminen on tärkeää, koska niitä tuotetaan suuria määriä	§ Diplexeri on tarpeen ja kustannukset ovat korkeammat.
Kanavan resiprookkisuus	§ Kanavan ominaisuudet samat molempiin suuntiin, mikä mahdollistaa lähettämisen ja vastaanottamisen samoilla parametreilla	§ Kanavan ominaisuudet ovat erilaiset eri suuntiin erilaisten taajuuksien käytöstä johtuen.
UD/DL -epäsymmetrisyys	§ On mahdollista dynaamisesti muuttaa UL/DL kapasiteetin suhdetta tarpeen mukaan	§ UL/DL kapasiteettia ei mahdollista säätää dynaamisesti.
Suoja-aika / suojakaista	§ Suoja aika tarvitaan varmistamaan etteivät uplink- ja downlink-lähettykset törmää. § Pitkä suoja-aika rajoittaa kapasiteettia. § Pidempi suoja-aika tarvitaan suuremmilla etäisyyksillä	§ Suojakaista vaaditaan UL/DL-kaistojen erottamiseksi toisistaan. Suojakaistan koko ei vaikuta kapasiteettiin.
Transmission jatkuvuus/epäjatkuvuus	§ Epäjatkuvaa siirtoa tarvitaan mahdollistamaan uplink- ja downlink-lähettykset. Tämä voi heikentää RF-vahvistimen suorituskykyä.	§ Jatkuva transmissio vaaditaan.
Aikavälien interferenssi	§ Tukiasemien täytyy olla synkronisoituja uplink- ja downlink-lähettyksiin. § Interferenssiä voi esiintyä, jos naapuritukiasemat käyttävät samaa kanavaa.	§ Ei oleellista tässä yhteydessä.

LTE-järjestelmän toimivuus edellyttää LTE-mittausta. Seuraavissa luvuissa perehdytään LTE-mittaukseen ja -mittalaitteisiin.

4 LTE-MITTAUKSET JA -MITTALAITTEET

LTE-mittauksiin on kehitetty LTE-testauslaitteita, joiden avulla voidaan varmistaa verkkojen toimintoja. Tavoitteeksi asetettu jopa 20 megahertsin taajuuskaista asettaa vaatimuksia sekä verkoille että niiden testauslaitteille. [17.]

LTE-verkon suorituskykyyn liittyviä mittaussuureita ovat esimerkiksi datansiirtonopeus (Mb/s), signaalin viivearvot ja niiden vaihtelut, bittivirhesuhde, modulointivirhenopeus ja kehysvirhesuhde. [17.]

LTE-verkkojen kehityksen alkuvaiheessa LTE-verkon suorituskykyä tutkittiin verkkosimulaattoreilla. Tähän liittyvää testaustarvetta on edelleen, koska on tarvetta testata esimerkiksi FTP-latausta, VoIP-puheluita, sähköpostia ja internetselailua. LTE-simulaattoreilla voidaan tehdä arvioita kokonaisten verkkojärjestelmien toimivuudesta, esimerkiksi hyötydatan siirtymisestä tai verkon peittoalueesta. Toimivuutta voidaan arvioida radiokanavien bittivirhesuhteen avulla. Tällöin voidaan mitata esimerkiksi AWGN-kohinan (valkoinen kohina) alueet maaseutu ympäristössä tai Rayleigh-häipymien määrä kaupunkien keskustoissa. [17.]

Verkkojen tyyppihyväksyntä edellyttää testaamista. Mittausjärjestelmistä on siirrytty erillislaitteisiin. Joitakin vuosia sitten tukiasematesteri oli ainoa tarjolla oleva LTE-mittauslaite. Tukiasematesteriä oli mahdollista päivittää ohjelmallisesti ja yksittäisiä mittauslaitteita voitiin liittää laajempiin testijärjestelmiin, jolloin vältyttiin kokonaan uusien laitteistojen tarpeelta. Järjestelmässä oli myös signaaligeneraattoreita ja muita RF-testauslaitteita. Mittausalustoja voitiin käyttää testaamisessa ja tyyppihyväksynnässä myös modulaarisina testialustoina, jolloin kolmansien osapuolien mittauslaitteiden käyttö mahdollistui. Verkkojen sovittamisvaiheessa oli mahdollista käyttää esimerkiksi LTE-tasoisia signaaligeneraattoreita ja -analysointilaitteita, jotka ovat mahdollistaneet laitteiden yhteensopivuustestien tekemisen laboratorio-oloissa ja käytännön olosuhteissa. [17.]

Kun halutaan selvittää verkon todellista toimintaa, tarvitaan protokollanalysointilaitteita. Protokollanalysointilaitteilla voidaan mitata käyttölaitteen ja verkkoelementin välisen merkinantoliikenteen laatua. Niillä voidaan todentaa myös eri protokollatasojen viestien ja parametrien arvot. [17.]

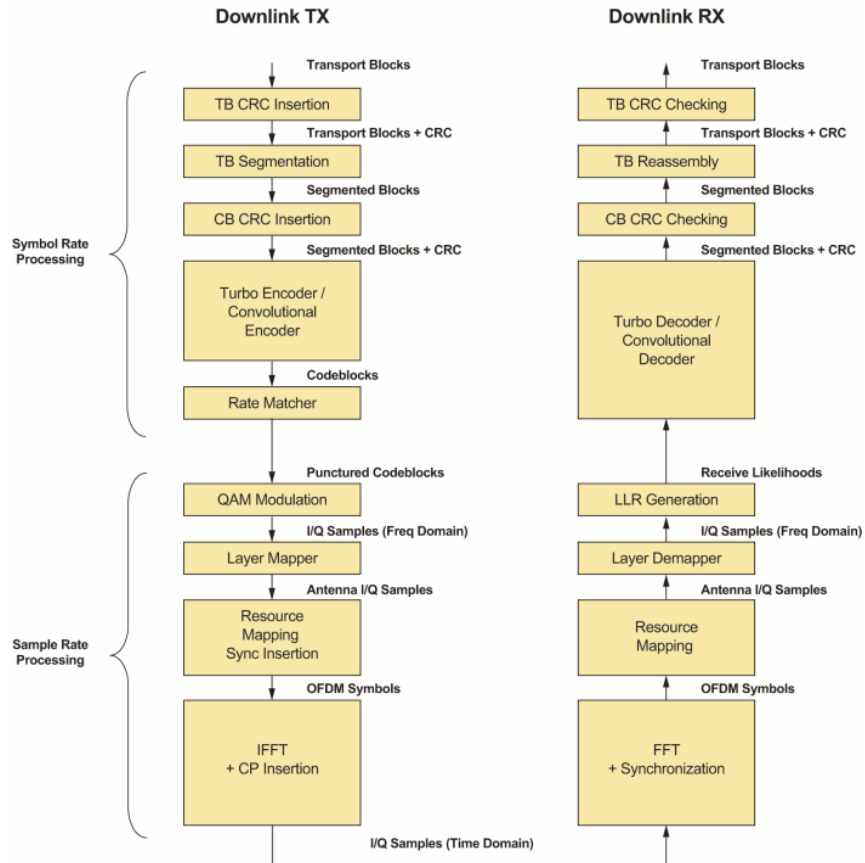
Uutta LTE-verkkoa voidaan testata kätevimmin kenttämittauslaitteilla. Verkkojen kehittyessä mittauksissa on tarkoituksenmukaista käyttää ajoneuvoihin asennettuja kenttätestereitä tai kannettavia sisätiloissa käytettäviä kenttätestereitä. Kiinteän verkon mittaukseen voidaan käyttää myös protokollanalysointilaitteita. Kun halutaan varmistaa monimutkaisten rakenteiden toimivuus, tarvitaan verkkosimulaattoreita, joissa voi olla myös omia palvelimia. [17.]

Uusimmat LTE-mittauslaitteet ovat vielä kehitysasteella. LTE-verkon mittauslaitteisiin voidaan hankkia lisäohjelmia, joilla päivitetään käytössä oleva mittauslaite. Lisäohjelmia voidaan kuitenkin asentaa vain parin kolmen vuoden ikäisiin mittauslaitteisiin. Tätä vanhempiin mittauslaitteisiin ne eivät sovellu. Uudemmissakin mittauslaitteissa on lisäohjelmien hankinnan yhteydessä oltava tietoa myös siitä, kuinka vaativia mittauksia aiotaan tehdä. Lisäohjelman hankkiminen voi olla kustannuksiltaan edullisempi uuden mittalaitteen hankkimiseen verrattuna. [17.]

Aiempienkin matkaviestinjärjestelmien laadunmittaukset ovat olleet tärkeitä, mutta verkkojen kehittyessä laadunmittauksesta eli palvelun laadun (QoS, Quality of Service) varmistuksesta on tullut yhä tärkeämpää. Kanavalaadun ilmaisun CQI (Channel Quality Indicator) on yksi yleisimmistä LTE-mittaussuureista. CQI ilmoittaa kanavan laadun yksinkertaistetussa muodossa. CQI:tä on käytetty jo aikaisemminkin IP-määritysten HSPA-laaturaportoinnissa (High Speed Packet Access). LTE:ssä CQI:n käyttö on joustavampaa kuin HSPA:ssa, koska LTE mahdollistaa monia CQI-välitysvaihtoehtoja.

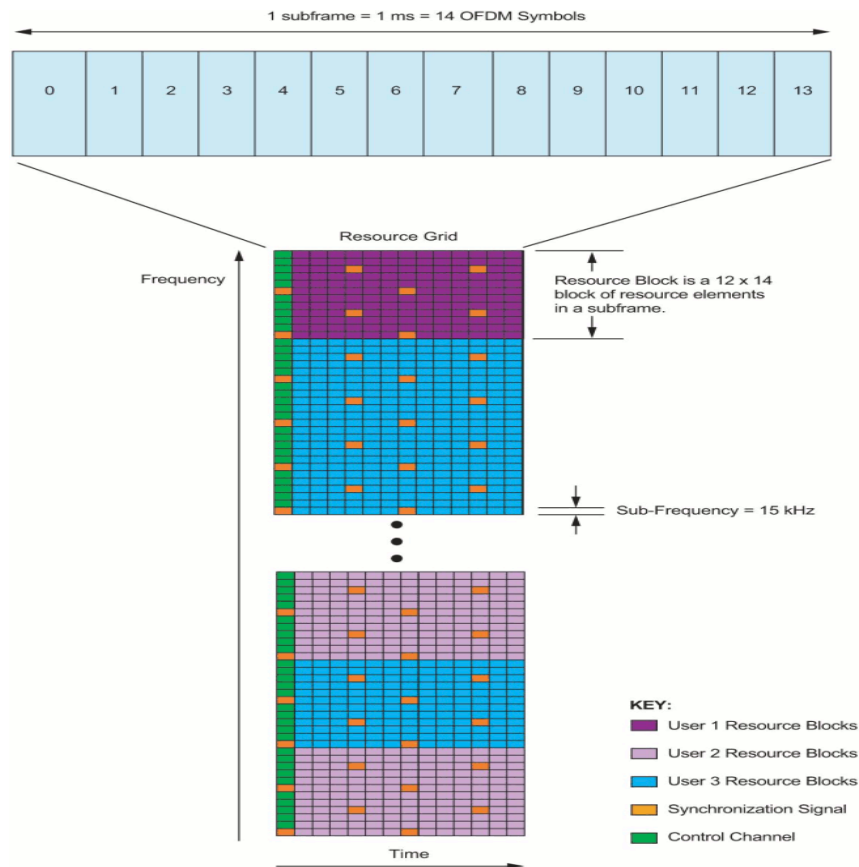
Hyödyllisiä mittauksia ovat myös kanavan tehotaso, kaistan käyttöaste, naapurikanavan vuototeho ja spektrilähetteen maski. IP-pohjaisia laatumittareita ovat bittivirhesuhde BER (bit error rate) tai BEP (bit error probability), kehysvirhesuhde FER (frame error rate) ja pakettivirhesuhde (packet error rate).

LTE-mittauksia tehdään sekä verkkoon päin (uplink) että verkosta tilaajalle päin (downlink). Kuvassa 11 on havainnollistettu LTE:n tiedonsiirtoa. TX on lähetyspää ja RX on vastaanottopää. Eniten mittauksia tehdään taajuusvirheistä, lähetystehosta sekä EVM-virhevektorista (Error Vector Magnitude). EVM kuvaa demodulaattorin suorituskykyä häiriöoloissa. [17.]



Kuva 11. LTE-downlink-siirto [9]

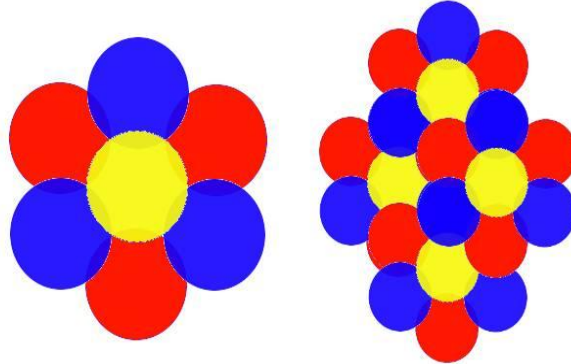
Kuvassa 12 on havainnollistettu näkymää, joka voidaan saada joissakin mittalaitteissa. Kuvassa näkyy kolmen eri käyttäjän varaamaa varausyksikköä (user 1 - 3). Tukiasema kertoo tietyt arvot, esimerkiksi tukiaseman nimen ja mitä taajuutta se käyttää (vihreä). Tukiasema lähettää synkronointibittejä niin, että käyttäjän laite ja tukiasema tietävät, tarvitseeko tehdä muutoksia (oranssi).



Kuva 12. LTE:n OFDM-siirto [9]

Verkkojen pystytykseen ja optimointiin liittyviä ongelmia pyritään helpottamaan ominaisuuksilla, joilla uusi tukiasema pystyy päätelaitteiden mittausten avulla aistimaan ympäristöään ja valitsemaan sellaiset parametrit, jotka eivät ole lähistöllä käytössä. Tavoitteena on, että myös solunvaihdot ja niihin liittyvä runkoverkon liikenne pyritään ohjaamaan automaattisesti eri tukiasemille ilman käsin tehtävää parametrisointia. [18.]

Kuvassa 13 on esitetty esimerkki tukiasemasta, jossa käytetään kolmea eri taajuutta.



Kuva 13. LTE 4 Frequency Plan

Tukiasema tulee suunnitella oikein. LTE toimii myös vain yhdellä taajuudella, mutta voidaan asentaa myös useampaan taajuuteen. Näin toimimalla saadaan tehokkaampi käyttö.

5 YRITYKSILTÄ SAATUA LTE-MITTALAITETIETOA

Työ aloitettiin tutkimalla oppilaitoksen omia mittalaitteita. Kolmeen yritykseen lähetettiin tiedustelu, onko oppilaitoksen nykyisiä mittalaitteita mahdollista päivittää ja voidaanko niillä tehdä LTE-verkon mittauksia. Saadun tiedon perusteella todettiin, että oppilaitoksen nykyisillä mittalaitteilla ei voida tehdä LTE-verkon mittauksia. LTE-verkon mittauslaitteisiin voidaan hankkia lisäohjelmia, joilla päivitetään käytössä oleva mittauslaite. Lisäohjelmia voidaan kuitenkin asentaa vain parin kolmen vuoden ikäisiin mittauslaitteisiin. Tätä vanhempiin mittauslaitteisiin ne eivät sovellu, ja siksi niitä ei voida hankkia oppilaitoksen mittalaitteisiin.

Mittalaitteita toimittaville yrityksille lähetettiin tiedustelu, jossa selvitettiin, minkälaisilla mittalaitteilla voidaan mitata LTE-verkkoa ja kuinka paljon laitteet maksavat. Tiedustelu toimitettiin kolmeen yritykseen (Liite 1). Kahdelta yritykseltä, Agilentilta ja Anritsulta, saatiin pyydetyt tiedot (Liite 2, Liite 3). Kumpikin näistä yrityksistä otti yhteyttä myös puhelimitse, ja toinen yrityksistä lähetti lisämateriaalia postitse.

5.1 Anritsun mittalaitteet

Anritsun LTE-mittalaitteet voidaan karkeasti jaotella kahdentyyppisiin laitteisiin: kenttämittalaitteisiin ja laboratoriomittalaitteisiin.

5.1.1 Kenttämittalaitteet

MT8221B BTS Master -mittalaite

Laitetiedot

- Mittalaite on yhdistelmälaite.
- Mittalaite sisältää spektrianalysaattorin.
- Mittalaite sisältää 2-porttisen vektoripiirianalysaattorin.
- Mittalaite sisältää tehomittarin.
- Mittalaite sisältää moduloivan signaaligeneraattorin (optio).



Kuva 14. MT8221B BTS Master -mittalaite

Laitteeseen voidaan integroida myös 3 LTE-mittausoptiota:

- LTE RF -mittaukset: Menetelmällä saadaan LTE-radorajapinnan downlinkin kriittiset RF-mittaukset
- LTE-demodulaatio: Tällä menettelyllä päästään downlinkin modulaatiomittauksiin.
- LTE Over The Air -mittaukset: Tällä menettelyllä voidaan tehdä suorituskykymittauksia tukiasemasta ilman kaapeliyhteyttä, antennin yli.

Lisäksi MT8221B:n optiovalikoimaan sisältyvät lähes kaikki yleisimmät radiostandardit ja paljon muita hyödyllisiä ominaisuuksia. Laite on siis erittäin joustava ja monipuolinen työkalu, ja kannettavuutensa sekä varsin kestävä luonteensa vuoksi erinomaisesti koulutuskäyttöön soveltuva.

Lisätietoja MT8221B BTS master -mittalaitteesta on saatavissa seuraavasta osoitteesta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=405&model=MT8221B>

MS2721B Spectrum Master -mittalaite

Laitetiedot

- Mittalaite sisältää spektrianalysaattorin.
- Mittalaitteen antama taajuusalue ulottuu 7,1 GHz:iin.
- Mittalaitteesta puuttuu 2-porttinen vektoripiirianalysaattori ja signaaligeneraattorimahdollisuus.



Kuva 15. MS2721B Spectrum Master -mittalaite

Mittalaitteen sisarmalleja ovat 13 GHz:n ja 20 GHz:n mittalaitteet. Koska 2-porttinen vektoripiirianalysaattori puuttuu, laite ei ole yhtä joustava kuin edellä esitelty mittalaite. MS2721B vastaa käytännössä MT8221B-laitteen spektrianalysaattoriosaa, ja siihen on saatavilla kaikki vastaavat LTE-spesifiset mittaussuoritukset (ja myös muut suoritukset) kuin MT8221B:hen.

Lisätietoja MS2721B Spectrum Master -mittalaitteesta on saatavissa seuraavasta osoitteesta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=253&model=MS2721B>.

5.1.2 Laboriormittalaitteet

Laboriormittalaitteena käytetään useimmiten signaalianalysaattoria sekä signaaligeneraattoria, jotka mahdollistavat työskentelyn myös digitaalisten modulaatioiden kanssa. Lisäksi on olemassa signaloivia laitteita, jotka voivat esimerkiksi muodostaa puhelun päätelaitteen kanssa, tarjota päätelaitteelle simuloidun tukiasemaverkon ynnä muuta.

RF-mittalaittepuolelta saatiin tieto kahdesta erilaisesta mittalaitteesta. Kummatkin ovat ominaisuuksiltaan melko samantyyppisiä, mutta toisessa mittalaitteessa on enemmän ominaisuuksia. Siksi tämä mittalaite on myös kalliimpi.

MS2830A-mittalaite

Laitetiedot

- Mittalaite sisältää signaalianalysaattorin.
- Mittalaitteen antama analyysikaistanleveys on maksimissaan 31,25 MHz.
- Mittalaitteen antama taajuusalue ulottuu maksimissaan 13,5 GHz:iin.
- Optiona MS2830A:han voidaan asentaa myös suorituskykyinen moduloiva signaaligeneraattori 6 GHz:iin asti.



Kuva 16. MS2830A-mittalaite

Kyseessä on erittäin suorituskykyinen ja edullinen yhdistelmälaite, jossa sekä analyysi- että generointipuolella on mahdollisuus LTE-mittauksiin. Sekä LTE-signaalien generointi että analyysi onnistuvat.

Lisätietoa MS2830A-mittalaitteesta on saatavissa seuraavasta osoitteesta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=424&model=MS2830A&promomo=1>.

MS2690A-mittalaite

Laitetiedot

- Mittalaite tarjoaa samat signaalianalyysi- ja generointimahdollisuudet kuin MS2830A.
- Mittalaitteen antama analyysikaistanleveys on maksimissaan 125 MHz.
- Mittalaitteen antama taajuusalue ulottuu 26,5 GHz:iin.



Kuva 17. MS2690A-mittalaite

Lisätietoa MS2690A-mittalaitteesta on saatavissa seuraavasta osoitteesta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=328&model=MS2690A+Series>.

MG3700A-mittalaite

Laitetiedot

- Mittalaite on pelkkä signaaligeneraattori.



Kuva 18. MG3700A-mittalaite

MG3700A vastaa käytännössä edellä esiteltyjen laitteiden generaattoriosaa sillä erotuksella, että MG3700A:ssa on kaksi erillistä baseband-osaa, eli sillä saa lähetettyä kahta eri signaalia samaan aikaan. Esimerkiksi halutun signaalin ja kohinan lähettäminen samaan aikaan onnistuu.

Lisätietoa MG3700A-mittalaitteesta on saatavissa seuraavasta osoitteesta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=183&model=MG3700A>.

5.2 Agilentin mittalaitteet

Uusin ja käyttökelpoisin Agilentin vaihtoehto LET-mittauksiin on N9010A-signaalianalysaattori.

Taulukossa 8 on esitetty yrityksen ehdottama LTE-mittauksiin soveltuva kokoonpano.

Taulukko 8. Agilent: LTE-mittauksiin soveltuva kokoonpano

LAITTEEN OSAT	LAITTEEN OMINAISUUDET
N9010A	EXA signal analyzer
N9010A-507	Frequency range, 9 kHz to 7 GHz
N9010A-PRF	Precision frequency reference
N9010A-FSA	Fine resolution step attenuator
N9010A-B25	Analysis bandwidth, 25 MHz
N9080A-1FP	LTE-FDD Measurement Application

Mahdollisuus koota tarvittava kokoonpano halutuilla ominaisuuksilla on asiakkaan kannalta hyvä asia.



Kuva 19. N9010A-signaalianalysaattori

Lisätietoja N9010A-signaalianalysaattorista on saatavissa seuraavasta osoitteesta:

<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=-33932.710350.00&cc=FI&lc=fin>.

6 LTE-MITTALAITTEIDEN VERTAILUA

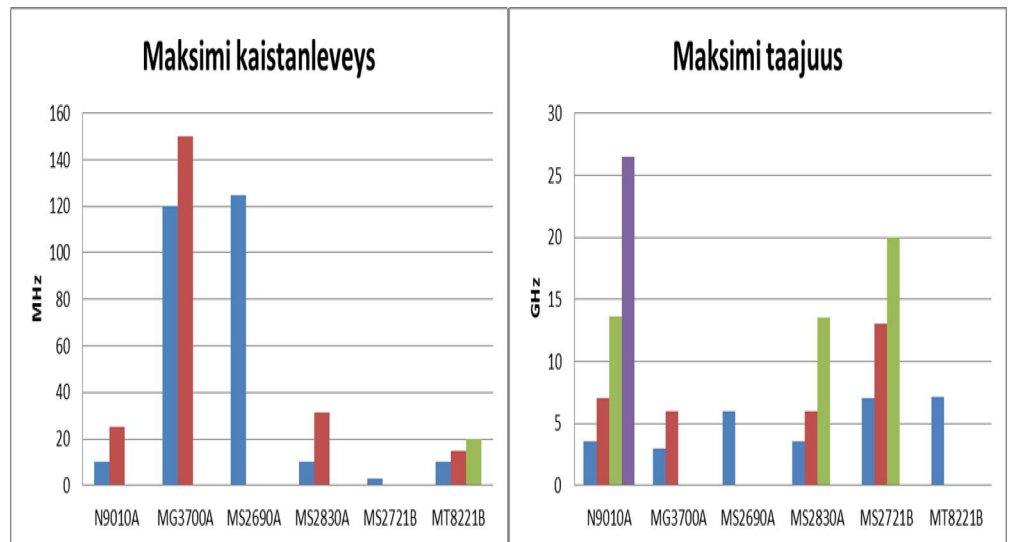
Tässä luvussa perehdytään yrityksiltä saatuihin mittalaitetietoihin ja vertaillaan laitteiden ominaisuuksia sekä selvitetään mittalaitteiden kustannuksia.

6.1 Laiteominaisuuksien vertailua

Kenttälaitteet ovat pieniä ja helpompia kuljettaa mukana.

Taulukossa 9 on havainnollistettu mittalaitteiden maksimikaistanleveyksiä ja maksimitaajuuksia. Kenttämittalaitteiden maksimikaistanleveys on huomattavasti pienempi verrattuna laboratoriolaitteisiin.

Taulukko 9. Mittalaitteiden maksimikaistanleveys ja maksimitaajuuden vertailua



Kenttälaitteiden maksimitaajuus on mittalaitteiden keskitasoa.

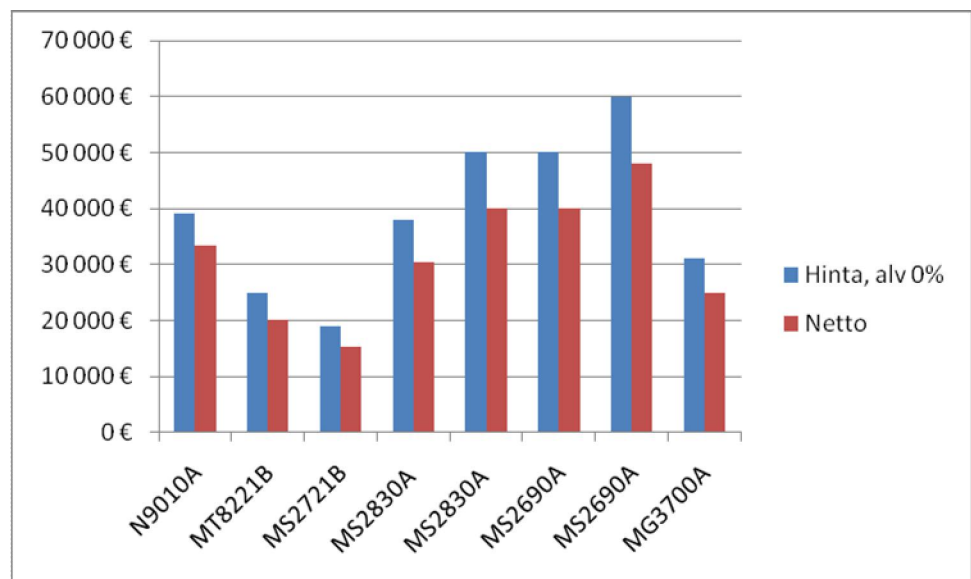
Taulukko 10. Mittalaitteiden taajuusalue ja kaistanleveys

	N9010A	MG3700A	MS2690A	MS2830A	MS2721B	MT8221B
Taajudet	9 kHz to 3.6 GHz 7.0 GHz 13.6 GHz 26.5 GHz	250 kHz to 3 GHz (standard)	50 Hz to 6 GHz	9 kHz to	9 kHz to 7 GHz	150 KHz to 7.1 GHz
		250 kHz to 6 GHz (option)		3.6 GHz (MS2830A-040) 6.0 GHz (MS2830A-041) 13,5 GHz (MS2830A-043)	9 kHz to 13 GHz (MS2723B) 20 GHz (MS2724B)	
Kaistan- leveys	10 MHz (standard)	120 MHz (Internal base band genera- tor)	125 MHz	10MHz	1 Hz to 3 MHz	10MHz
	25 MHz (optional)	150 MHz (External IQ input)		31,25MHz (expansion)	in 1-3 sequence Resolution Bandwidth (RBW)	15 MHz 20 MHz (requires Option 0541 or 0542)

6.2 Laitteiden kustannusten vertailua

Taulukoissa 11 ja 12 selvitetään mittalaitteiden hankintakustannuksiin liittyviä tietoja.

Kenttälaitteet ovat hinnaltaan edullisempia kuin laboratoriolaitteet, mutta niistä puuttuu signaaligeneraattori. Laboratoriolaitteet ovat tehokkaampia mutta kalliimpia. Joissakin laboratoriolaitteissa on signaaligeneraattori. Tällöin hinta nousee noin 10 k€.

Taulukko 11. Mittalaitteiden hinnat

Taulukko 12. Anritsun ja Agilentin mittalaitteiden toimitus ja hinta

Agilent

	Toimitusaika	Hinta, alv 0%	Netto, sis alennuksen , alv 0%	Muuta huomioitavaa
N9010A	8 viikkoa.	39 198 €	33 318 €	
			n. 20 %	Alennus on

Anritsu**kenttämittalaitteet**

	Toimitusaika	Hinta (listahinta)	Alennus	Muuta huomioitavaa
MT8221B	4 – 8 viikkoa	n. 25 k€	20 %	sis. LTE-mittausoptiot
MS2721B	4 – 8 viikkoa	n. 19 k€	20 %	sis. LTE-mittausoptiot

laboratoriomittalaitteet

	Toimitusaika	Hinta (listahinta)	Alennus	Muuta huomioitavaa
MS2830A	4 – 8 viikkoa	n. 38 k€	20 %	sis. LTE-mittausoptiot
	4 – 8 viikkoa	n. 50 k€	20 %	sis. myös signaali-generaattorin
MS2690A	4 – 8 viikkoa	n. 50 k€	20 %	sis. LTE-mittausoptiot
	4 – 8 viikkoa	n. 60 k€	20 %	sis. myös signaali-generaattorin
MG3700A	4 – 8 viikkoa	n. 31 k€	20 %	sis. LTE-mittausoptiot

Laitteiden maksuehdot

Anritsu edellyttää, että mittalaitteiden nettohinta maksetaan viimeistään 30 päivän sisällä toimituksesta. Standardialennuksena Anritsu tarjoaa yliopistoille 20 % listahinnasta. Hinta on tälle yritykselle hyvin pitkälle neuvottelukysymys. Yritykseltä saadun tiedon mukaan he eivät ole joutuneet tilanteeseen, jolloin laitteen kustannukset eivät olisi mahtuneet asiakkaan budjettiin. Mikäli mittalaitteen kustannukset ovat yli 15 k€, joudutaan useimmiten kilpailutustilanteeseen. Kilpailutustilanteissa asiakas ei välttämättä saa yritykseltä suuria alennuksia.

Mittalaitteen hankkiminen osamaksullakin on mahdollista, mutta tällaisissa tilanteissa yritys on yleensä käyttänyt rahoituslaitoksen tukea. Osamaksutilanteissa on mahdollisuus samoihin alennuksiin kuin edellä mainitussa tilanteessa, mutta kaupan kokonaishinta on silloin riippuvainen osamaksuajasta. Pidemmälle ajanjaksolle jaetussa maksutavassa mittalaitteen kustannukset nousevat suuremmiksi. Pienimmillään ero suoraostoon on noin 8 %.

Mittalaitteiden vuokraus on yrityksen mukaan mahdollista erityisjärjestelyin. Tällöin minimivuokra-aika on 6 kk, ja hintataso määräytyy vuokra-ajan mukaan. 12 kk kestävä vuokrauksen kuukausihinta on huomattavasti matalampi kuin 6 kk:n vuokra. Vuokrausmahdollisuutta yritys ei kuitenkaan voi luvata suoralta kädeltä, vaan asia vaatii lisäselvityksiä.

Agilentin osalta muista maksuvaihtoehdoista, kuten vuokrauksesta ja osamaksusta on mahdollista neuvotella.

Laitteiden kustannuksia koskevat tiedot löytyvät liitteistä 2 ja 3.

7 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä perehdyttiin LTE-teknologiaan sekä LTE-mittalaitteisiin ja selvitettiin, soveltuvatko Metropolia Ammattikorkeakoulun nykyiset mittalaitteet radiorajapinnan LTE-mittaukseen.

Tutkimustyön tuloksena voidaan todeta, että oppilaitoksen nykyiset mittalaitteet eivät sovellu LTE-mittaukseen. Uusimmat LTE-mittauslaitteet ovat vielä kehitysasteella. LTE-verkon mittauslaitteisiin voidaan hankkia lisäohjelmia, joilla päivitetään käytössä oleva mittauslaite. Lisäohjelmia voidaan kuitenkin asentaa vain parin kolmen vuoden ikäisiin mittauslaitteisiin. Tätä vanhempiin mittauslaitteisiin ne eivät sovellu, eikä niitä siksi voida hankkia oppilaitoksen mittalaitteisiin. Uudemmissakin mittauslaitteissa on lisäohjelmien hankinnan yhteydessä oltava tietoa myös siitä, kuinka vaativia mittauksia aiotaan tehdä. Lisäohjelman hankkiminen voi olla kustannuksiltaan edullisempi uuden mittalaitteen hankkimiseen verrattuna.

Insinööriyössä selvitettiin LTE-mittalaitteita toimittavilta yrityksiltä mittalaitteisiin liittyviä kustannustietoja, mittalaitteiden ominaisuuksia sekä muita keskeisiä mittalaitteisiin liittyviä tietoja. Tehtyä tutkimustyötä on mahdollista käyttää oppilaitoksessa LTE-mittalaitteiden hankinnan tukena.

VIITELUETTELO

- [1] GSM [verkkodokumentti viitattu 20.04.2010]
<http://fi.wikipedia.org/wiki/GSM>.
- [2] 3G [verkkodokumentti viitattu 20.04.2010]
<http://en.wikipedia.org/wiki/3G>.
- [3] LTE Historical Information [verkkodokumentti viitattu 24.04.2010]
<http://www.3gpp.org/LTE>.
- [4] 4 x Increased Spectral Efficiency, 10 x Users Per Cell [verkkodokumentti viitattu 24.04.2010] <http://www.3gpp.org/LTE>.
- [5] LTE [verkkodokumentti viitattu 24.04.2010]
<http://www.3gpp.org/LTE>.
- [6] Tehchnical overview 18.5.2008 [verkkodokumentti viitattu 16.05.2010]
<http://www.3gpp.org/LTE>.
- [7] 3G LTE basics [verkkodokumentti viitattu 16.05.2010] <http://www.radio-electronics.com/info/cellular/telecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>.
- [8] LTE-Advanced [verkkodokumentti viitattu 24.04.2010]
<http://www.3gpp.org/LTE-Advanced>.
- [9] LTE kuvia [verkkodokumentti viitattu 30.05.2010]
<http://www.dspdesignline.com/213001092?printableArticle=true>.
- [10] LTE kuvia [verkkodokumentti viitattu 30.05.2010]
<http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>.
- [11] 3g to LTE Network [verkkodokumentti viitattu 09.05.2010]
<http://www.koreaninsight.com/tag/3g/>.
- [12] 3G [verkkodokumentti viitattu 20.04.2010]
<http://fi.wikipedia.org/wiki/3G>.
- [13] [verkkodokumentti viitattu 20.04.2010]
<http://www.four-g.net/>.
- [14] MIMO [verkkodokumentti viitattu 23.11.2009]
<http://fi.wikipedia.org/wiki/MIMO>.
- [15] C.Gessner Rohde & Schwarz UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction 09.2008
- [16] Turusta tuli Soneran 4g koekenttä [verkkodokumentti viitattu 06.10.2010]
<http://www.itviikko.fi/uutiset/2010/06/02/turusta-tuli-soneran-4g-koekentta/20107884/7>.
- [17] Prosessorilehti LTE-verkkojen testaus edistyy 8 2010
- [18] LTE tuo langattoman laajakaistan [verkkodokumentti viitattu 12.10.2010]
<http://www.prosessori.fi/proteteknologia09/ARKISTO/LTE.HTM>.
- [19] Julkinen radiopuhelinliikenne viedään LTE-verkkoon [verkkodokumentti viitattu 12.10.2010] <http://www.prosessori.fi/uutiset/uutinen2.asp?id=56321>.

From: Lassi Ajalin [mailto:Lassi.Ajalin@metropolia.fi]
Sent: 31. tammikuuta 2010 19:59
To: Yritys
Subject: Tiedustelu

Lassi Ajalin
osoite
osoite
lassi.ajalin@metropolia.fi
puh. numero

Yrityksen nimi

Opiskelen Metropolia ammattikorkeakoulussa tietoliikenneinsinööriksi ja teen parhaillaan opinnäytetyötä uudesta LTE-tekniikasta. Olen saanut oppilaitoksestani toimeksiannon selvittää, millä laitteilla voidaan mitata LTE-radorajapintaa ja mitä ne tulisivat maksamaan.

Toivoisin teiltä tietoja seuraavista asioita:

- Millä laitteilla voidaan mitata LTE-radorajapintaa?
- LTE-radorajapinnan mittauslaitteiden hinta, maksuehdot ja alennukset?
- Onko mittauslaitteita mahdollista hankkia osamaksulla: koko hinta, maksuehdot ja alennukset?
- Onko mittauslaitteiden vuokraus mahdollista ja minkälaiset sopimusehdot vuokraukseen liittyvät?
- Minkälaisella aikataululla laitteet voidaan toimittaa?

Pyydän teitä ystävällisesti toimittamaan yllämainitut tiedot ja mahdollisen kirjallisen aineiston minulle, mikäli mahdollista, 17.02.2010 mennessä.

Helsingissä 31.1.2010

Lassi Ajalin

RE: Tiedustelu

marja_savia@agilent.com [marja_savia@agilent.com]

Lähetetty: 10. helmikuuta 2010 16:31

Vastaanottaja: Lassi Ajalin

Hei Lassi,

Pahoittelen vastaukseni viipymistä.

Kuten aikaisemmin saamassasi vastauksessa mainittiin, Testhuse Nordic hoitaa nykyään Agilentin mittalaitteiden myynnin ja edustuksen Suomessa.

Laitan asiaa kuitenkin jo eteenpäin heidän puolestaan.

Uusin ja käyttökelpoisin vaihtoehto LET-mittauksiin on N9010A signaalianalysaattori.

Lisätietoja löydät helpoiten täältä:

<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jspx?nid=-33932.710350.00&cc=FI&lc=fin>

Alla esimerkki LTE-mittauksiin sopivasta kokoonpanosta

N9010A	EXA signal analyzer
N9010A-507	Frequency range, 9 kHz to 7 GHz
N9010A-PRF	Precision frequency reference
N9010A-FSA	Fine resolution step attenuator
N9010A-B25	Analysis bandwidth, 25 MHz
N9080A-1FP	LTE-FDD Measurement Application

Hinta yhteensä: 39198 € alv 0%

Netto, sis alennuksenne 33318 € alv 0%

Analysaattorin arvioitu toimitusaika on tällä hetkellä noin 8 viikkoa.

Muista maksuvaihtoehtoista, kuten vuokraus osamaksu jne voidaan keskustella vielä erikseen.

Lähetän postitse materiaalia LTE-mittauksista tulemaan.

Niiden saapuminen kestää aikansa, mutta tulossa on.

Soitellaan huomenissa tai tämän viikon aikana ja puhutaan asiasta vielä hieman tarkemmin.

Ystävällisin terveisin

Marja Savia

Agilent Technologies Finland Oy
Linnoitustie 2 B
FIN-02600 Espoo
Tel: +358 10855 2829
Fax: +358 10855 2923
E-mail: marja_savia@agilent.com
http://www.agilent.com/find/tm_finland

RE: Tiedustelu LTE-mittalaitteista
Herola, Erkki [Erkki.Herola@anritsu.com]

Lähetetty: 10. helmikuuta 2010 9:18
Vastaanottaja: Lassi Ajalin

Terve Lassi,

Yritin tänään aiemmin rimpauttaa kyselläkseni asiasta hieman tarkemmin. Uskoakseni tässä on kyse samoista jutuista, joista juttelin Koivumäen Antin kanssa aiemmin viime vuoden puolella. Silloin keskustelimme LTE-mittauksista melko laajalti, ja esiin nousivat lähinnä ei-signaloivat LTE-radorajapinnan mittauslaitteet.

Käsitän myös LTE-mittalaitteen tässä sellaisena mittarina, jossa on joku nimen omaan LTE:lle rakennettu modulaatio/demodulaatio- tai muu analyysisofta. Sinänsähän LTE-mittauksia voidaan tehdä myös ihan millä tahansa spektrianalysaattorilla, toki rajoitetusti.

1: Millä laitteilla voidaan mitata LTE-radorajapintaa?

Anritsun LTE-mittalaitteet voidaan karkeasti jaotella kahdentyyppisiin laitteisiin: kenttämittalaitteisiin ja laboratoriomittalaitteisiin.

Kenttämittalaitteet:

Kenttämittalaitteissa meillä on tarjolla muutama erilainen laite, joissa on LTE-mittausominaisuudet. Lähden liikkeelle monipuolisimmasta:

MT8221B BTS Master on yhdistelmälaite, joka sisältää spektrianalysaattorin, 2-porttisen vektoripiirianalysaattorin, tehomittarin ja moduloivan signaaligeneraattorin (optio). Laitteeseen voidaan integroida myös 3 LTE-mittausoptiota:

1. LTE RF-mittaukset (LTE-radorajapinnan downlinkin kriittiset RF-mittaukset)
2. LTE demodulaatio (tällä päästään kiinni downlinkin modulaatiomittauksiin)
3. LTE Over The Air-mittaukset (tällä voidaan tehdä suorituskyky mittauksia tukiasemasta ilman kaapeliyhteyttä, antennin yli)

Lisäksi MT8221B:n optiovalikoimaan sisältyvät lähes kaikki yleisimmät radiostandardit ja paljon muuta. Laite on siis erittäin joustava ja monipuolinen työkalu, ja kannettavuutensa sekä varsin keskeisen luonteensa vuoksi erinomaisesti koulutuskäyttöön soveltuva.

Lisätietoja BTS-masterista tämän linkin takana:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=405&model=MT8221B>

MS2721B Spectrum Master on spektrianalysaattori, siinä missä edellä mainittu MT8221B on yhdistelmälaite. MS2721B vastaa käytännössä MT8221B-laitteen spektrianalysaattoriosaa ja siihen on saatavilla kaikki vastaavat LTE-spesifiset mittausoptiot (ja myös muut optiot) kuin MT8221B:hen. MS2721B:stä puuttuu 2-porttinen vektoripiirianalysaattori ja signaaligeneraattorimahdollisuus, joten aivan yhtä joustava laite se ei ole. MS2721B:n taajuusalue ulottuu 7.1 GHz:iin ja sillä on sisarmallit myös 13 ja 20 GHz mittauksiin.

Lisätietoja MS2721B-mallista täällä:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=253&model=MS2721B>

Laboratoriomittalaitteet:

Labralaitteissa meillä on myös useita vaihtoehtoja. Labramittalaitteena useimmiten tämäntyyppisissä hommissa on signaalianalysointilaitteet sekä signaaligeneraattori, jotka voivat työskennellä myös digitaalisten modulaatioiden kanssa. Lisäksi on olemassa signaloivia laitteita, jotka voivat esimerkiksi muodostaa puhelun päätelaitteen kanssa, tarjota päätelaitteelle simuloidun tukiasemaverkon ynnä muuta, mutta ymmärtääkseni teillä ei ole tällaista tarvetta. Onko tämä oikein?

RF-mittalaittepuolella meillä olisi tarjolla pari erilaista platformia. Molemmat ovat melko samantyyppisiä ominaisuuksiltaan, mutta toinen tarjoaa hieman enemmän ja on siten hieman hintavampi.

MS2830A on vasta esitelty signaalianalysointilaitte, jonka analyysikaistanleveys on maksimissaan 31,25 MHz ja taajuusalue ulottuu maksimissaan 13,5 GHz:iin. Optiona MS2830A:han voidaan asentaa myös suorituskykyinen moduloiva signaaligeneraattori 6 GHz asti. Tällöin kyseessä on erittäin suorituskykyinen ja edullinen yhdistelmälaite, jossa sekä analyysi- että generointipuolella on mahdollisuus LTE-mittauksiin. Siis sekä LTE-signaalien generointi että analyysi onnistuvat.

Lisätietoa MS2830A:sta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=424&model=MS2830A&promo=1>

MS2690A on MS2830A:n ”isoveili” ja tarjoaa samat signaalianalyysi- ja generointimahdollisuudet, mutta analyysikaistanleveys on maksimissaan 125 MHz ja taajuusalue ulottuu 26,5 GHz asti.

Lisätietoa MS2690A:sta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=328&model=MS2690A+Series>

MG3700A on pelkkä signaaligeneraattori, jos haluatte geniksen mieluummin erillisenä. MG3700A vastaa käytännössä edellä esiteltyjen laitteiden generaattoriosaa, mutta sillä erotuksella että MG3700A:ssa on kaksi erillistä baseband-osaa, eli sillä saa lähetettyä kahta eri signaalia samaan aikaan. Esimerkiksi halutun signaalin ja kohinan lähettäminen samaan aikaan onnistuu.

Lisätietoa MG3700A:sta:

<http://www.eu.anritsu.com/products/default.php?p=183&model=MG3700A>

- LTE-radorajapinnan mittauslaitteiden hinta, maksuehdot ja alennukset?

Edellä mainittujen laitteiden hintaluokat (listahinta):

MT8221B: Hintaluokka n. 25 k€sis LTE-mittausoptiot

MS2721B: Hintaluokka n. 19 k€sis LTE-mittausoptiot

MS2830A: Hintaluokka n. 38 k€sis LTE-mittausoptiot, n. 50 k€sisältäen myös signaaligeneraattorin

MS2690A: Hintaluokka n. 50 k€sis LTE-mittausoptiot, n. 60 k€sisältäen myös signaaligeneraattorin

MG3700A: Hintaluokka n. 31 k€sis LTE-mittausoptiot

Maksuehtona olemme pitäneet 30 päivää netto toimituksen jälkeen. Standardialennuksena meillä on yliopistoille 20 % listahinnasta, mutta emme vielä ole joutuneet tilanteeseen, missä emme ole saaneet laitetta sopimaan asiakkaamme budjettiin. Hinta on siis hyvin pitkälti neuvottelukysymys. Toki yli 15 k€tapauksissa useimmiten joudutaan turvautumaan kilpailutukseen, jolloin ei välttämättä ole niin helppoa kaivaa tehtaalta isoja alennuksia.

- Onko mittauslaitteita mahdollista hankkia osamaksulla: koko hinta, maksuehdot ja alennukset?

Tämäkin on mahdollista, tosin olemme näissä tapauksissa useimmiten käyttäneet rahoituslaitosta. Tällöin alennus on sama kuin edellä mainitussa tapauksessa ja koko hinta riippuu osamaksuajasta. Pidemmällä ajalla lopullisesta hinnasta muodostuu isompi, pienimmillään ero suoraostoon on n. 8 %

- Onko mittauslaitteiden vuokraus mahdollista ja minkälaiset sopimusehdot vuokraukseen liittyvät?

Vuokrauskin onnistuu (on ainakin aiemmin onnistunut) pienin erityisjärjestelyin. Tällöin minimivuokra-aika on 6 kk ja hintataso määräytyy vuokra-ajan mukaan. 12kk kestävän vuokrauksen kuukausihinta on jo paljon matalampi kuin 6kk vuokran. Vuokrausmahdollisuutta en uskalla kuitenkaan vielä 100% luvata, asia täytyy tarkistaa.

- Minkälaisella aikataululla laitteet voidaan toimittaa?

Laitteiden toimitusaika on laitteesta ja optioista riippuen n. 4 – 8 viikkoa tilauksesta.

Onko tässä mielestäsi riittävästi tietoa? Hommailen mielelläni lisätietoa/materiaalia, jos tarvis on. Mielestäni olisi myös erittäin hyödyllistä tulla jossain vaiheessa juttelemaan kanssanne ja vaikka näyttämään kiinnostavimmat tuotteet. Osaatko sanoa tällä perusteella, että minkä tyyppiset laitteet näistä tavoitteisiinne parhaiten sopivat?

Ystävällisin terveisin
-Erkka/Anritsu