

Olli Auvinen

**LABORATORIOTYÖOHJEIDEN LAATIMINEN MATKAPUHELIN-  
JÄRJESTELMIEN MITTAUKSIIN**

# **LABORATORIOTYÖOHJEIDEN LAATIMINEN MATKAPUHELIN- JÄRJESTELMIEN MITTAUKSIIN**

Olli Auvinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma, langaton tietoliikenne

---

Tekijä(t): Olli Auvinen

Opinnäytetyön nimi: Laboratoriotyöohjeiden laatiminen matkapuhelinjärjestelmien mittauksiin

Työn ohjaaja(t): Riitta Rontu

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 41 + 18 liitettä

---

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella kaksi työohjetta Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön tietotekniikan opinto-ohjelmaan kuuluvien kurssien laboratoriotöihin. Niissä tavoitteena on perehdyttää tietotekniikanopiskelijat toisen, kolmannen ja neljännen sukupolven matkapuhelintekniikkojen suorituskykyyn ja toimintoihin matkapuhelinjärjestelmien radorajapinnassa.

Laboratoriotyöt rakentuu Anite Finland Oy valmistamien Nemo Handy- ja Nemo Outdoor -ohjelmien ympärille. Ensimmäinen vaihe opinnäytetyön valmistelussa oli selvittää Handy- ja Outdoor-ohjelmien mahdolliset rajoitukset ja ominaisuudet ennen laboratoriotöiden toteutusta. Suunnitteluvaiheessa työohjeet pyrittiin sovittamaan opinto-ohjelmaan kuuluvien kurssien sisältöä ja osaamistavoitteita tukevaksi. Tällöin opiskelijat saavat laboratorioympäristössä käytännön tasolla nähdä lähiopetustunneilla käsiteltyjä radioverkon toimintoja ja ominaisuuksia. Työohjeisiin kuuluu osana myös tehtäviä, joiden avulla opiskelijat syventyvät matkapuhelinjärjestelmien teoriaan ja järjestelmien toimintojen signalointikaavioiden.

Opinnäytetyön tuloksena tuotettiin kaksi työohjetta matkapuhelinjärjestelmien mittauksiin ja työohjeissa suoritettuja mittauksia taustoittavaa teoriaa opiskelijoiden käytettäväksi.

---

Asiasanat: GSM, UMTS, LTE, laboratoriotyöt, matkapuhelinjärjestelmät

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	6
1 JOHDANTO	8
2 MATKAPUHELINJÄRJESTELMÄT	9
2.1 Arkkitehtuuri	10
2.1.1 GERAN	10
2.1.2 UTRAN	11
2.1.3 E-UTRAN	12
2.2 Piirikytkentäinen puhelu	14
2.2.1 Radio- ja järjestelmäverkon protokollat	15
2.2.2 Puhelun kytkentäprosessi	16
3 RADIORAJAPINNAN KESKEISET TOIMINNOT	18
3.1 Monikäyttötekniikat	18
3.1.1 TDMA ja FDMA	18
3.1.2 WCDMA	19
3.1.3 OFDMA ja SC-FDMA	21
3.2 Datapalveluiden suorituskyvyn määrittäminen	23
3.2.1 GSM	23
3.2.2 UMTS	24
3.2.3 LTE	25
3.2.4 Modulaatiomenetelmät	26
3.3 Tehonsäätö	27
3.3.1 Hidas tehonsäätö	28
3.3.2 Nopea tehonsäätö	29
3.4 Kanavanvaihto	29
3.4.1 GSM	30
3.4.2 UMTS	31
4 MITTALAITTEET	34
5 TYÖOHJEIDEN SUUNNITTELU	36
5.1 Työohje 1	36

5.2 Työohje 2	37
6 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	40
LIITE 1. Työohje 1	
LIITE 2. Työohje 2	

## SANASTO

3GPP	3rd Generation Partnership Project. Monikansallinen standardointijärjestö
BER	Bit Error Rate. Bittivirhesuhde
BLER	Block Error Rate. Lohkovirhesuhde
BSC	Base Station Controller. Tukiasemaohjain
BSS	Base Station Sub-System. Tukiasema-alijärjestelmä
BTS	Base Transceiver Station. GSM-järjestelmän tukiasema
CQI	Channel Quality Indicator. Radiokanavan laadun mittari
DC-HSPA	Dual Carrier-High Speed Packet Access. Kahta kantataajuutta tukeva HSPA
DL	Downlink. Liikenne tukiasemalta päätelaitteelle
eNode B	LTE-järjestelmän tukiasema
E-UTRAN	Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network. LTE:n radioliityntäverkko
FDMA	Frequency Division Multiple Access. Taajuusjakoinen monikäyttötekniikka
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network. GSM:n radioliityntäverkko
GSM	Global System for Mobile Communications. Toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access. Downlink-suunnan HSPA
HSPA	High-Speed Packet Access. UMTS:n downlink- ja uplink-suunnan suorituskykyä parantava tekniikka

LTE	Long Term Evolution. Neljännen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä
MCS	Modulation and Coding Scheme. Modulaatio ja koodausmenetelmä
MIMO	Multiple Input Multiple Output. Moniantennitekniikka
MOC	Mobile Originated Call. Puhelimesta alkava puhelu
MSC	Mobile Switching Center. KytKentäkeskus
Node B	UMTS-järjestelmän tukiasema
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access. Ortogonaalinen FDMA
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor. WCDMA:ssa käytettävä ortogonaalinen koodi vaihtuvalla levityskertoimella
QoS	Quality of Service. Palvelulle määrätty laatuvaatimus
RNC	Radio Network Controller. Radioverkko-ohjain
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access. Yhden kantaallon FDMA
SIR	Signal to Inteference Rate. Signaali-häiriö-suhde
TDMA	Time Division Multiple Access. Aikajakoinen monikäyttötekniikka
UL	Uplink. Liikenne päätelaitteelta tukiasemalle
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System. Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network. UMTS:n radio-liityntäverkko
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access. UMTS:n koodijakoinen monikäyttötekniikka

# 1 JOHDANTO

Ammattikorkeakoulun tehtävä on antaa opiskelijalle työkalut vastaamaan työelämän vaatimuksia ja edesauttaa kohti suuntautumisalan asiantuntijatehtäviä. Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan kaksi laboratoriotyöohjetta ensimmäisen ja toisen vuoden tietotekniikan opiskelijoille. Näiden työohjeiden avulla opiskelijat tutustuvat ja syventyvät GSM- (Global System for Mobile Communications), UMTS- (Universal Mobile Telecommunications System) ja LTE -matkapuhelinjärjestelmien (Long Term Evolution) toimintaperiaatteisiin. Laboratoriomittausten suorittamiseen käytettävissä oleva aika on kaksi tuntia.

Laboratoriotyöt suunnitellaan Anite Finland Oy:n Nemo Handy- ja Nemo Outdoor -mittausohjelmien ympärille. Ohjelmat mahdollistavat päätelaitteen ja tukiaseman välisen radorajapinnan mittaamisen GSM-, UMTS- ja LTE-verkossa reaaliaikaisesti ja mittauksen tallentamisen myöhempää tarkastelua varten.

Ensimmäisen vuoden tietoliikenteen opiskelijoilla opinto-ohjelmaan kuuluu Langaton tiedonsiirto -kurssi, jonka tavoitteena on perehdyttää opiskelijat langattomien järjestelmien radiokanavan ominaisuuksiin. Laboratoriotyöohjeen ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltavana on UMTS-verkko ja puhelun kytkentä. Tämän lisäksi opiskelijat tarkastelevat eri matkapuhelinjärjestelmien suorituskyvyn eroja, jotta heille muodostuisi käsitys käytettävissä olevien järjestelmien suorituskyvystä ja kehityksestä. Lähtökohtana kurssin laboratoriotyöohjeen suunnittelussa on ensimmäisen vuoden opiskelijoiden lähtötietotason huomioiminen.

Toisen vuoden tietoliikenteen opiskelijoilla ohjelmaan kuuluu Langattomat tietoliikennejärjestelmät -kurssi, jossa perehdytään eri tietoliikennejärjestelmien rakenteisiin ja toimintaperiaatteisiin. Kurssille suunnatun laboratoriotyön tehtävänä on syventyä päätelaitteen toimintaan radorajapinnassa. Työohjeessa tarkasteltavana on päätelaitteen tehonsäätö UMTS-verkossa ja kanavanvaihtojen suorittaminen GSM- ja UMTS-verkossa. Tässä työssä opiskelijat myös käyttävät työohjeelle Nemo Handy -ohjelmalla valmiiksi luotuja mittaustallenteita UMTS-verkon kanavanvaihtojen tarkastelemiseksi.



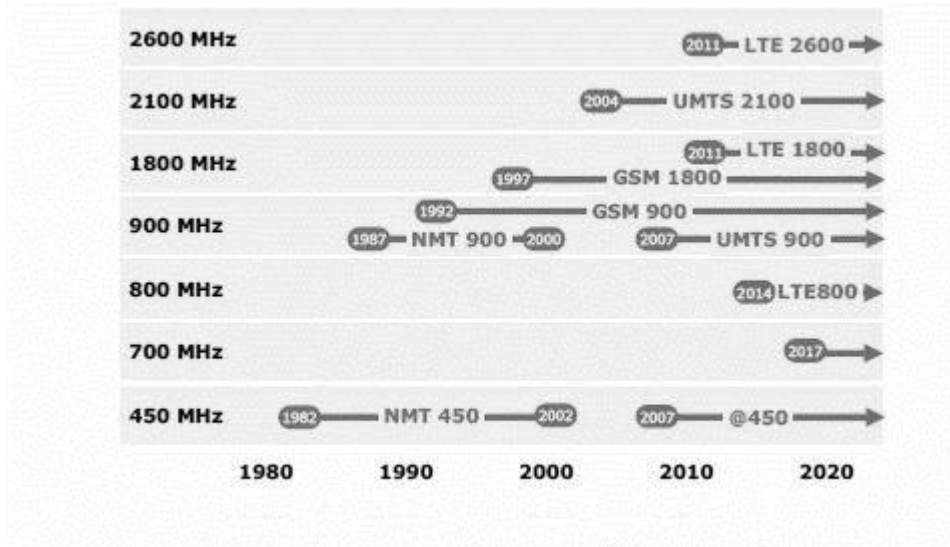
## 2 MATKAPUHELINJÄRJESTELMÄT

Kehitystyö yhteisen eurooppalaisen matkapuhelinjärjestelmän luomiseksi alkoi vuonna 1982. GSM:n alkuvaiheen standardikehitys tapahtui CEPT:n (European Conference of Postal and Telecommunications Administrators) alaisuudessa, mistä kehitys siirtyi vuodesta 1989 alkaen ETSI-organisaation (European Telecommunications Standards Institute) alaisuuteen. (1, s. 11.)

Ensimmäiset GSM-verkot otettiin käyttöön vuonna 1991. Samalla vuosikymmenellä alkoi jo seuraavan sukupolven kehitystyö useiden kansallisten organisaatioiden alaisuudessa ja vuodesta 1998 alkaen UMTS:n kehitystä varten luotiin monikansallinen 3GPP-organisaatio (3rd Generation Partnership Project). Tämän myötä GSM:n ja UMTS:n kehitys siirtyi yhteisen organisaation alaisuuteen ja Suomessa UMTS otettiin GSM:n rinnalle käyttöön vuonna 2004. Samana vuonna 3GPP:ssa aloitettiin työ seuraavan sukupolven LTE-tekniikan kehittämiseksi ja vuonna 2008 LTE:n standardin kehitystyö oli valmis käyttöönottoa varten. (1, s. 15; 2, s. 7, 21.)

Suomessa vuonna 2015 käytettävät matkapuhelinjärjestelmät koostuvat näin kolmen eri sukupolven tekniikoista. Järjestelmistä GSM-verkko läpäisee lähes koko Suomen, UMTS-verkko saavuttaa suomalaisista 98 % ja LTE:n kehitys suurissa kasvukeskuksissa on mahdollistanut tekniikan nopean yleistymisen. LTE:n laajentuminen myös haja-asutusalueille on nopeutunut vuonna 2014 myönnettyjen 800 MHz:n taajuusalueiden myötä, mikä tulee olemaan myös seuraavien vuosien merkittävä kehityssuunta. (3, s. 12; 4.)

Kuvassa 1 on nähtävissä Suomessa matkapuhelinjärjestelmille myönnetyt taajuusalueet. 450 MHz:n taajuusalue on myönnetty vuodesta 2014 alkaen käytettäväksi LTE-järjestelmässä ja 700 MHz:n taajuusalue tulee käytettäväksi vuonna 2017. Näin voidaan yhdessä 800 MHz:n radiolupien avulla parantaa entisestään LTE-järjestelmien toimivuutta haja-asutusalueilla. (3, s. 19; 5.)



KUVA 1. Matkapuhelinjärjestelmien taajuusalueet Suomessa (3, s. 18)

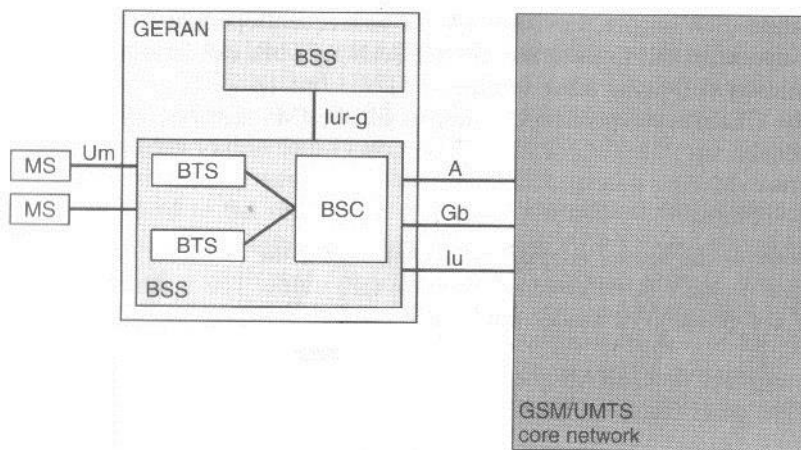
## 2.1 Arkkitehtuuri

### 2.1.1 GERAN

GSM:n kehityksen alkuvaiheessa radioverkko oli nimeltään BSS (Base Station Sub-System). GSM:n pakettikytkentäisten datapalveluiden siirtoon kehitetyn GPRS:n (General Packet Radio Services) laajennuksen eli EDGE:n (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) alkuvaiheessa BSS nimettiin E-RAN:ksi (EDGE Radio Access Network), ja lopulta 3GPP:n Release 4 -spesifikaatiossa radiorajapinta nimettiin GERAN:ksi (GSM/EDGE Radio Access Network). BSS kuvaa GERAN-radioverkon yhden tai useamman tukiaseman eli BTS:n (Base Transceiver Station) ja niitä ohjaavan tukiasemaohjaimen eli BSC:n (Base Station Controller) kokonaisuutta. Tukiaseman vastuulla on Um-ilmarajapinnan hallitseminen, minkä johdosta sille kuuluvia tehtäviä on radiorajapinnan signalointi ja salaus. Tukiasemaohjain on radioverkon keskeisin ja tukiasemia ohjaava elementti. Ohjaimen vastuulla on valvoa sen alaisuudessa toimivien tukiasemien radioresursseja, päätelaitteiden kanavanvaihtoja ja radiorajapinnan parametreja, kuten tehonsäätöä. (1, s. 36, 45–46; 6, s. 17–24.)

Kuvassa 2 on havainnollistettuna GERAN-verkko ja mahdolliset rajapinnat. GERAN:n ja runkoverkon rajapinnassa on GSM:n runkoverkon kytkentäkeskuk-

seen (Mobile Switching Center) ja sitä kautta piirikytkentäisiin palveluihin yhdistävä A-rajapinta. Gb-rajapinta yhdistää radioverkon runkoverkon pakettikytkentäisiin palveluihin SGSN-solmun (Serving GPRS Support Node) kautta. Iu-rajapinta on Release 5 -standardin myötä tullut rajapinta, joka mahdollistaa GERAN-verkon toiminnan UMTS-runkoverkossa. Lisäyksestä huolimatta A- ja Gb-rajapinnat säilyvät, jotta voidaan varmistaa Release 5:tä edeltävien päätteiden toiminta GERAN-radioverkossa. (7, s. 59, 66.)



KUVA 2. GERAN-radioverkko (7, s. 60)

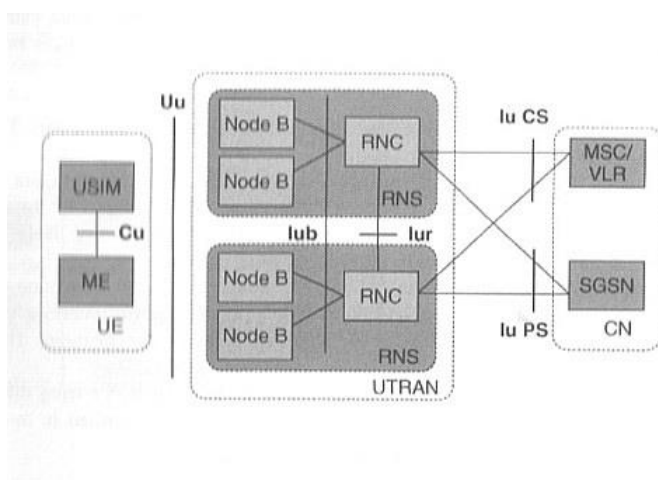
GERAN:n kehityksen tuloksena on saavutettu GSM:n ja UMTS:n radioverkkojen yhteensopivuus, mutta varmistettu myös taaksepäin yhteensopivuus. Tästä saatuja hyötyjä verkon operaattoreille on UMTS:n kehitettyjen palveluiden ja ominaisuuksien mahdollistaminen GSM-verkossa sekä rinnakkaisten verkkojen ylläpidon helpottaminen. (7, s. 65.)

### 2.1.2 UTRAN

UTRAN on UMTS-järjestelmän radiopääsyverkko, joka vastaa radorajapinnan toiminnallisuudesta. Radioverkko-ohjaimen eli RNC:n (Radio Network Controller) tehtävänä UTRAN:ssa on hallinnoida verkon radioresursseja ja kytkeä liikenne runkoverkon sekä radioverkon välillä Iu-rajapinnassa. UTRAN:n radiore-surssien hallinnan toiminnallisuudesta käytetään nimitystä RRM (Radio Resource Management) ja siihen kuuluvia tehtäviä on radorajapinnan tehonsäätö, kanavanvaihdot, pääsynhallinta ja WCDMA-koodien hallinta. Tukiaseman

(Node B) vastuulla on päätelaitteen välisessä Uu-rajapinnassa radiosignaalin prosessointi fyysisille radiokanaville RNC:n ohjaamana ja liikenteen ohjaus runkoverkkoon radioverkko-ohjaimen kautta Iub-rajapinnassa. (6, s. 63, 71; 8, s. 80.)

Kuvassa 3 on havainnollistettu radioverkkoon kuuluvat elementit tukiasema, RNC sekä verkon rajapinnat päätelaitteen ja runkoverkon suuntaan. RNC:n runkoverkkoon yhdistävä Iu-rajapinta jaetaan vielä erikseen Iu CS -rajapintaan (Iu Circuit Switched) ja Iu PS -rajapintaan (Iu Packet Switched). Iu PS -rajapinta yhdistää GERAN:n Gb-rajapinnan tavoin runkoverkon MSC:lle pakettikytkentäisissä palveluissa. Iu CS -rajapinta vastaa GERAN:n A-rajapintaa ja yhdistää runkoverkon MSC:lle piirikytkentäisissä palveluissa. Yhtä tai useampaa tukiasemaa hallinnoiva RNC muodostaa radioverkko-alijärjestelmän RNS (Radio Network Sub-System), joiden välillä oleva Iur-rajapinta mahdollistaa esimerkiksi 3.4.2 kappaleessa esiteltävän pehmeän kanavanvaihdon suorittamisen kahden RNS:n välillä. (6, s. 63, 70.)



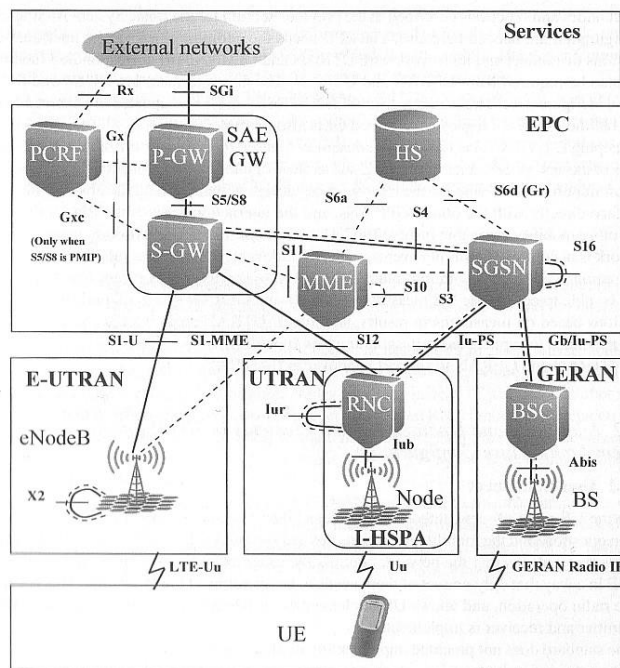
KUVA 3. UTRAN-radioverkko (8, s. 78)

### 2.1.3 E-UTRAN

LTE:n radiopääsyverkko on E-UTRAN (Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network), joka on nimensä mukaisesti UMTS-järjestelmästä polveutunut kehittyneempi radiopääsyverkko. UTRAN:ssa RNC:lle kuuluneita radiorajapinnan toiminnollisuuksia on siirretty tukiaseman (eNode B) huolehdittavaksi, eikä

radioverkossa ole enää edellisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmissä erillistä tukiasemaa ja tukiasemaohjainta. Tukiaseman tehtäviin kuuluu varmistaa radioresurssien hallinnointi, liikenteen ohjaus, tehonsäätö, liikenteen salausta ja kanavanvaihdot. (9, s. 27–28.)

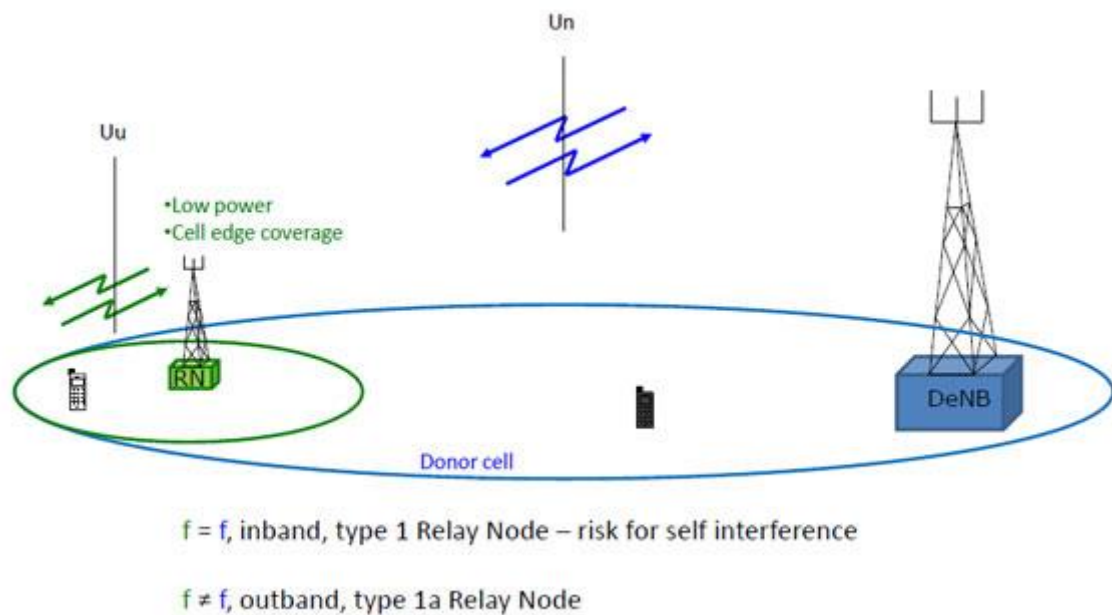
Tukiasemien välillä voi olla käytettävissä X2-rajapinta, jolla tukiasemat välittävät tietoa verkon kuormituksesta ja häiriöistä ja kanavanvaihtoon liittyvää informaatiota. Mikäli rajapintaa ei ole tai sitä ei ole säädetty käytettäväksi kanavanvaihdossa, niin tällöin käytetään S1-rajapintaa. Se on E-UTRAN:n ja runkoverkon eli EPC:n (Evolved Packet Core) yhdistävä rajapinta, joka mahdollistaa tukiasemien välisen kanavanvaihdon sopimisen runkoverkon MME:n (Mobility Management Entity) välityksellä. UTRAN-verkon tavoin tukiaseman ja päätelaittan yhdistää Uu-rajapinta. Kuvassa 4 on esitettyä, kuinka LTE:n runkoverkko on yhteen sovitettavissa muiden 3GPP:n standardoimien GERAN- ja UTRAN-radioverkkojen kanssa. (9, s. 27, 40–44.)



KUVA 4. GERAN, UTRAN ja E-UTRAN LTE-runkoverkossa (10, s. 41)

Tämän lisäksi LTE:ssä on 3GPP:n Release 10 -spesifikaation myötä tullut tuki Relay Nodelle, joka on myös Release 8 -spesifikaation kanssa taaksepäin yh-

teensopiva. Relay Node on pienitehoinen tukiasema, joka on kytkettynä Un-rajapinnalla normaaliin tukiasemaan eli Donor eNode B:hen. Toteutukseltaan Un-rajapinta on Uu-rajapinnasta muokattu toteutus ja käytännössä tämä tarkoittaa, että Donor eNode B -tukiasemaa käyttävät päätelaitteet ja Relay Node jakavat tukiaseman radioresurssit. Päätelaitteen silmin Relay Node ei ole erotettavissa normaalista tukiasemasta. Relay Nodesta saatavia hyötyjä on mahdollisuus laajentaa peittoaluetta tai saada tukiasema syrjäiseen paikkaan, johon kuituyhteyttä ei ole saatavissa. Kuvassa 5 on esitetty tukiasemien roolit ja tähän tarvittavat rajapinnat. (11, s. 332–334; 12.)



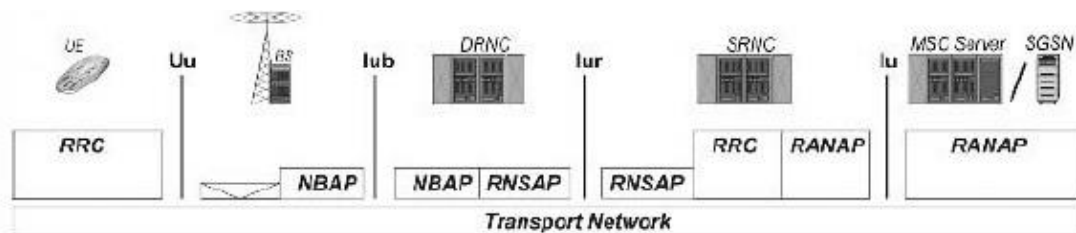
KUVA 5. Relay Node (12)

## 2.2 Piirikytkentäinen puhelu

Tässä opinnäytetyössä suunniteltavassa työohjeessa tutustutaan UMTS-verkon piirikytkentäisen (Circuit Switched) puhelimesta alkavan puhelun eli MOC:n (Mobile Originated Call) kytkemiseen ja päättämiseen. Puhelun suorittamisen vaatimaan prosessiin perehdytään tarkastelemalla puhelun muodostuksen keskeisiä vaiheita ja radorajapinnan yli tapahtuvan signaloinnin edellyttämiä protokollia.

## 2.2.1 Radio- ja järjestelmäverkon protokollat

UMTS-järjestelmässä radorajapinnan protokollamalli on jaettu kolmeen tasoon (Layer). Nämä tasot on jaettu ohjaustasoon (Control Plane) ja käyttäjätasoon (User Plane). Ohjaustason ylin radioverkkotasoo (Radio Network Layer) on Layer 3, jonka tärkein protokolla on RRC (Radio Resource Control). RRC-protokollan tehtävänä on huolehtia UTRAN-rajapinnalla lähetettävän kontrollitiedon välityksestä päätelaitteen ja RNC:n välillä. Protokolla-arkkitehtuurissa tätä tasoa kutsutaan myös pääsytasoksi (Access Stratum). Kuvassa 6 on esitettyä RRC:n sijainti radioverkon arkkitehtuurissa ja samassa kuvassa nähdään toinen puhe- luv muodostuksen kannalta oleellinen RANAP-protokolla (Radio Access Network Application Part). Se on kehitetty UTRAN-radioverkon ja runkoverkon välisen lu-rajapinnan signalointiin ja resurssienhallintaan. Piirikytkentäisessä puhelussa RANAP- ja RRC-protokolla vastaa päätelaitteen ja runkoverkon välisen signaloinnin kuljettamisesta. (6, s. 210, s. 241–242.)

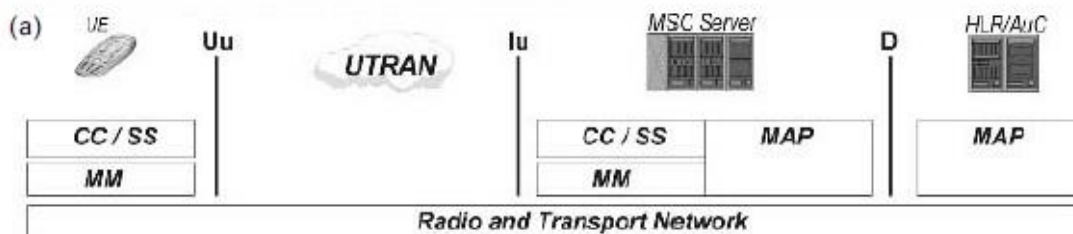


KUVA 6. Radioverkon ohjaustason protokollat (6, s. 251)

Runkoverkon ja päätelaitteen välisen liikenteen hallintatehtävistä vastaa yhteydenhallinta (Communication Management) ja liikkuvuuden hallinta (Mobility Management). Piirikytkentäisissä puheluissa yhteydenhallinnan tehtävä on huolehtia päätelaitteen yhteyden hallinnasta käsittelemällä päätelaitteen palvelupyynnöt, ja loppuvaiheessa vastata yhteyden purkamisesta. Liikkuvuuden hallinta vastaa liikkuvuuteen, tunnistetietoihin ja tietoturvaan liittyvistä prosesseista. (6, s. 107, 115.)

Kuvassa 7 on esitettyä näiden toiminnallisuuksien kontrollitasoon (Control Plane) protokollapino piirikytkentäisessä verkossa. Nämä järjestelmäverkon

protokollat tunnetaan myös NAS-protokollina (Non-Access Stratum). Yhteydenhallintatasolla MM-protokollan alikerroksena on CC- (Call Control) ja SS-protokolla (Supplementary Services). Nämä kaksi protokollaa toimivat radioverkossa Uu- ja Iur-rajapinnassa RRC-protokollan alikehyksenä sekä RANAP-protokollan alikehyksenä Iu-rajapinnassa RNC:ltä MSC/VLR:lle. CC-protokollaa käytetään yhteyden muodostamiseen ja purkamiseen käytettävien signaalintisanomien lähettämiseen. SS-protokolla tarjoaa piirikytkentäisiin yhteyksiin lisäpalveluita, jotka mahdollistavat soitonsiirron tai puhelun pidossa pitämisen. (6, s. 253–261.)



KUVA 7. MM- ja CM-tasojen protokollat (6, s. 256)

## 2.2.2 Puhelun kytkentäprosessi

UMTS-verkossa tapahtuvien palveluiden, kuten puhelimesta alkavan puhelun kuvaaminen voidaan jakaa vaiheisiin. MOC-puhelussa päätelaitteen ensimmäinen tehtävä on alustaa radioyhteyden muodostaminen päätelaitteen ja radioverkon välillä. Päälaitteen *RRC Connection request* -viestillä päätelaite ilmoittaa UTRAN-radioverkon RNC:lle tilaajatietoja ja syyn radioyhteyden muodostamiseen. RNC välittää *Connection Setup* -sanomalla päätelaitteelle tiedot radiorajapinnan käytettävistä resursseista, minkä päätelaite kuittaa RNC:lle *Connection Setup Complete* -sanomalla. (6, s. 268–270; 13, s. 174.)

RRC-yhteyden muodostumisen jälkeen päätelaite lähettää seuraavassa vaiheessa runkoverkkoon MSC/VLR:lle MM-protokollalla *CM Service Request* -sanoman. Tällä sanomalla MSC/VLR saa tietoon päätelaitteen tilaajatiedot ja pyynnön puhelun muodostamiseen. Seuraavassa vaiheessa MSC/VLR suorittaa päätelaitteen todennuksen sekä välittää RNC:lle tiedon käytettävistä salaus-



avaimista ja algoritmeista. RNC:n tehtävänä on välittää vastaanottamansa salausmenetelmät päätelaitteelle ja käskää aloittamaan radioliikenteen salaus. (6, s. 270–272.)

Tässä vaiheessa päätelaite aloittaa puhelun järjestelyn lähettämällä CC-protokollalla MSC/VLR:lle *Setup*-sanoman, jolla se ilmoittaa runkoverkkoon puhelun vastaanottajan numeron ja palvelun QoS-vaatimuksen (Quality of Service). Näiden tietojen pohjalta MSC/VLR lähettää RNC:lle *RAB Assignment Request* -pyynnön radiokantajan eli RAB:n (Radio Access Bearer) myöntämisestä päätelaitteen käyttöön. RNC voi tässä tilanteessa heikentää QoS-tasoa, mikäli sen hetkinen resurssitilanne ei mahdollista pyydetyn palvelutason tarjoamista. RNC:n lopulta hyväksyessä pyynnön päätelaite vastaanottaa *Radio Bearer Setup* -sanoman RNC:ltä, minkä jälkeen päätelaite voi ottaa käyttöön myönnetyn RAB:n ja vahvistaa tämän RNC:lle *Radio Bearer Setup Complete* -sanomalla. Lopuksi päätelaite vastaanottaa MSC/VLR:ltä *Call Proceeding* -sanoman, jolla runkoverkko ilmaisee päätelaitteelle olevansa kytkemässä pyydettyä puhelua. (6, s. 272–273; 13, s. 190.)

Tässä vaiheessa päätelaite vastaanottaa runkoverkosta *Alert*-sanoman, joka ilmaisee, että puhelun vastaanottajan puhelin hälyttää. Vastaanottajan hyväksyessä puhelun, verkko ilmoittaa *Connect*-sanomalla päätelaitteelle puhelun kytkytymisestä, ja päätelaite kuittaa sen vastaanotetuksi *Connect Acknowledge* -sanomalla. Oleellisena osana puhelun purkamista on molempien puhelun osapuolen mahdollisuus aloittaa yhteyden purkaminen *Disconnect*-sanomalla, jolla välitetään myös puhelun katkaisemisen syy. Viimeinen vaihe puhelussa on siinä käytettyjen radiokantajien vapauttaminen ja RRC-yhteyden katkaiseminen, mikäli muita päätelaitteen palveluita ei ole käytössä. (6, s. 274–275; 13, s. 280.)

## 3 RADIORAJAPINNAN KESKEISET TOIMINNOT

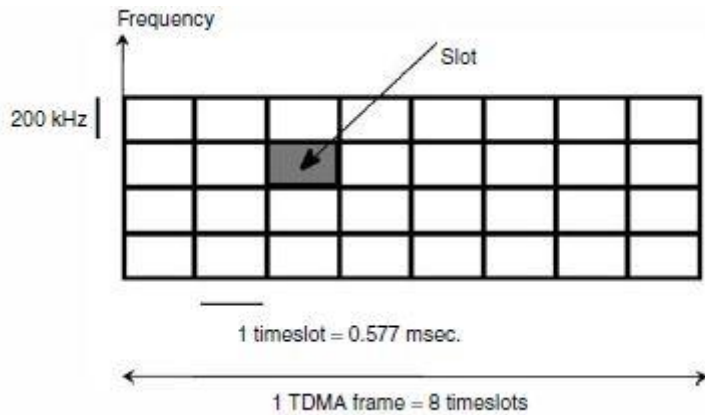
Radorajapinta on langattomien matkapuhelinjärjestelmien keskeisin osa, ja siihen olennaisimpana osana kuuluu järjestelmäkohtainen monikäyttötekniikka. Rajapinnassa käytettävä monikäyttötekniikka määrittelee perustan sille, millä menetelmällä järjestelmän radioverkon fyysinen radiokanava toteutetaan, ja tätä kautta mahdollistaa viestinnän verkon päätelaitteiden ja tukiasemien välillä.

Radorajapinnan toiminta edellyttää toimintoja myös sen ylläpitämiseen, että radorajapinnassa toimivat päätteet voivat hyödyntää käytävissä olevaa monikäyttötekniikkaa tehokkaasti mahdollistaen matkapuhelinjärjestelmän edellyttävän liikkuvuuden ja jatkuvan viestinnän verkon kautta. Tässä opinnäytetyössä suunniteltujen laboratoriotyöohjeiden tehtävien mukaisesti tarkasteltavana on radorajapinnan toiminnoista kanavanvaihto GSM- ja UMTS-järjestelmissä sekä tehonsäätö UMTS-järjestelmässä. Tämän lisäksi tarkastellaan, kuinka GSM-, UMTS- ja LTE-järjestelmien datapalveluiden suorituskyky määräytyy järjestelmissä käytettävien monikäyttömenetelmien puitteissa.

### 3.1 Monikäyttötekniikat

#### 3.1.1 TDMA ja FDMA

GSM-järjestelmän radorajapinta on toteutukseltaan FDMA:n (Time Division Multiple Access) ja TDMA:n (Frequency Division Multiple Access) yhdistelmä. Verkko toteutetaan jakamalla verkon käyttämä taajuuskaista useisiin 200 kHz:n kanavaväleihin, jotka on jaettu kahdeksaan aikaväliin TDMA-kehukseksi. Päätelaitteet liikennöivät vuorotellen tällä 200 kHz:n kanavalla yhdellä aikavälillä. Kuvassa 8 on esitettyä TDMA-kehys, josta on nähtävissä, että yksittäinen aikaväli on aikataajuustasossa 0,577 ms pituinen ja yksi TDMA-kehys on pituudeltaan tällöin 4,615 ms. (1, s. 115–116.)



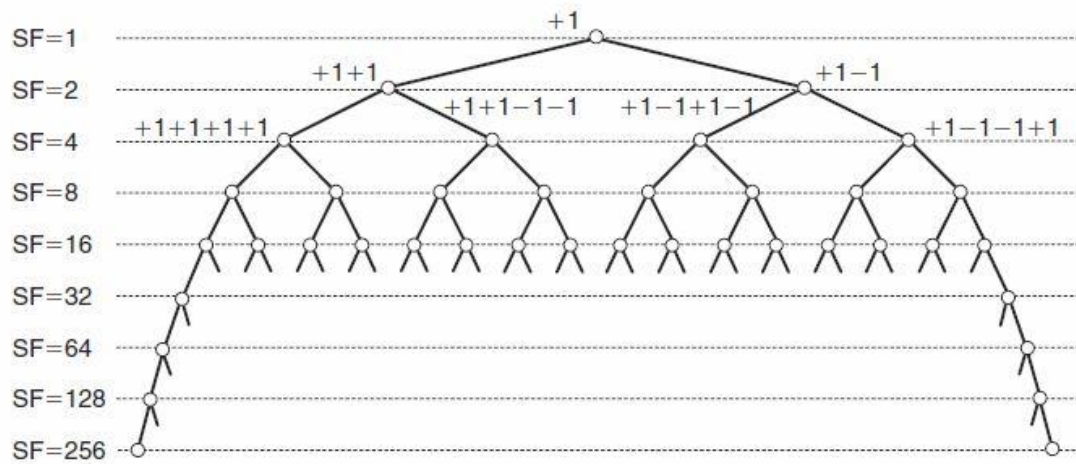
*KUVA 8. TDMA-kehys taajuusakselilla (7, s. 144)*

Radorajapinnan toimimiseksi TDMA-kehysten aikaväleillä liikennöivien päätelaitteiden pitää pystyä tahdistamaan tukiasemalle lähetettävä liikenne. Ajoitusennakon (Timing Advance) laskeminen tapahtuu selvittämällä tukiasemasta päätelaitteelle ja takaisin lähetetyn lähetteen kiertoaika. (1, s. 221.)

### **3.1.2 WCDMA**

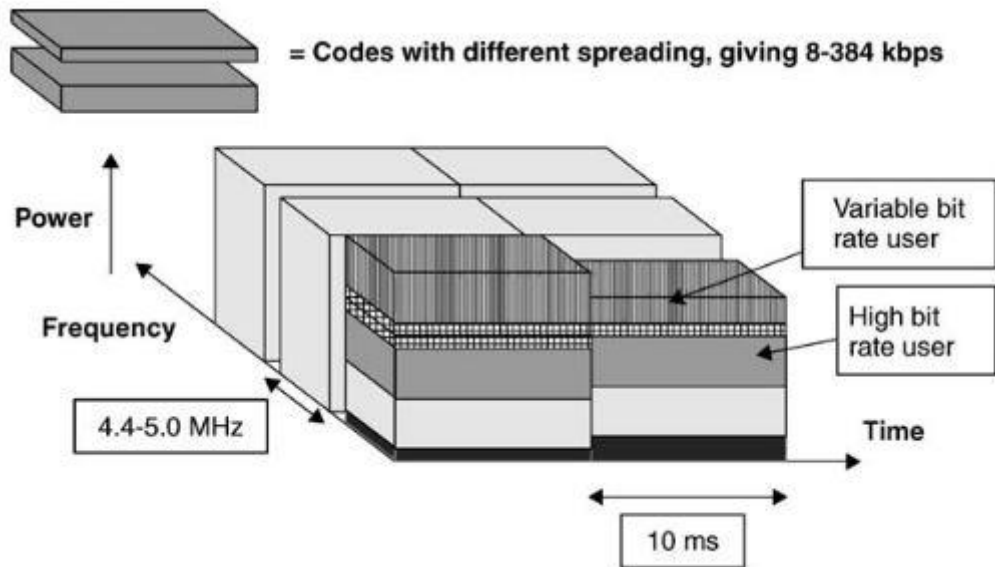
Laajakaistainen CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on kolmannen sukupolven UMTS-järjestelmän UTRAN-radorajapinnassa käytettävä hajasperktrinen (Direct Spread Code Division Multiple Access) ja koodijakoinen monikäyttötekniikka. Hajasperktrisen järjestelmän toteuttamisessa kanavalla käytetään kanavointikoodeja (Channelization Code), levityskoodia (Spreading Code) ja sekoituskoodeja (Scrambling Code). Kanavointikoodit ja levityskoodit ovat ortogonaalisia OVSF-koodeja (Orthogonal Variable Spreading Factor) eli koodit ovat toisistaan riippumattomia. Sekoituskoodit voi olla lyhyitä S(2)-koodeja tai pitkiä Gold-koodeja. (8, s. 47–49.)

Jokaisella päätelaitteella ja tukiasemalla on oma koodipuu, jota käytetään koodien hallintaan, mutta tukiasemien koodipuiden hallinta on RNC:n vastuulla. Koodipuun rakenne on havainnollistettuna kuvassa 9, missä SF-tason (Spreading Factor) vaihtelulla voidaan määrittää käytettävän levityskoodin pituuden kerroin. (8, s. 102–103.)



KUVA 9. Kanavointikoodin koodipuu (2, s. 134)

Järjestelmän hajasperktrisyys toteutetaan levittämällä levityskoodilla signaali 5 MHz:n kanavan koko leveydelle. Vastaanottavan osapuolen tehtävä on erottaa levitetty signaali 5 MHz:n kanavan pohjakohinasta samalla levityskoodilla kuin lähetyspäässä. Levityskoodissa käytettävällä levityskertoimella on tämän lisäksi datanopeuden suuruuteen ja käytettävissä olevien levityskoodien määrää rajoittava merkitys. Tukiasemassa tämä koodipuun alinten tasojen käyttö mahdollistaa useampien käyttäjien palvelemisen, mutta levityskertoimen suuruus ei mahdollista suurta siirtonopeutta. Ylempien tasojen käyttö mahdollistaa suuremman siirtonopeuden, mutta se estää kyseisen levityskertoimen alempien oksan haarojen käytön verkon käyttäjiltä. Kuvassa 10 on vielä havainnollistettuna, kuinka käyttäjät jakavat saman taajuuden. (6, s. 44–46; 8, s. 103.)



KUVA 10. Kaistanleveyden jako WCDMA:ssa (8, s. 48)

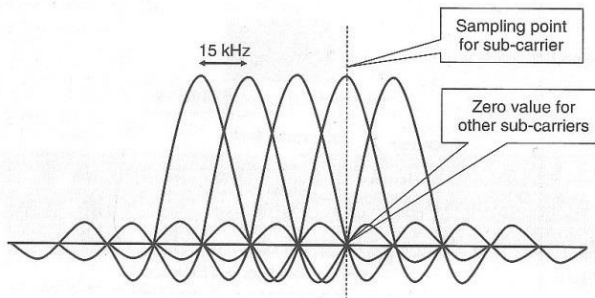
Tämän lisäksi käyttäjien jakaessa DL-siirtosuunnan 5 MHz:n kaistanleveyden on jokainen käyttäjä ja solu tunnistettava muista verkon käyttäjistä omilla sekoituskoodilla (Scrambling Code). Levityksen jälkeen suoritettavalla sekoituksella ei ole kaistanleveyteen vaikuttavia ominaisuuksia. Lisäksi sekoituskoodin ansiosta OVFS-koodien eli samojen koodipuiden toistuminen esimerkiksi verkon tukiasemien välillä on mahdollista. (8, s. 102–103.)

### 3.1.3 OFDMA ja SC-FDMA

LTE käyttää radiatorajapinnassa kahta taajuusjakoista monikäyttötekniikkaa. Molemmilla tekniikoilla radiokanavan kaistanleveys on jaettu 15 kHz:n alikantoaaltoihin ja 12 peräkkäistä alikantoaaltoa muodostaa yhden resurssilohkon (Resource Block). Edellisen sukupolven järjestelmistä poiketen LTE:ssä on mahdollista käyttää myös vaihtelevia 1,4, 3, 5, 10, 15 ja 20 MHz:n kaistanleveyksiä verkon toteutuksessa. (8, s. 476.)

Tukiaseman ja päätelaitteen välisessä DL-liikenteessä käytetään ortogonaalista ja taajuusjakoista OFDMA-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Päätelaitteen ja tukiaseman välisessä UL-liikenteessä käytetään yhden kanta-aallon taajuusjakoista SC-FDMA-tekniikkaa (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Molempien tekniikoiden ortogonaalisuus saavutetaan

sillä, että näytteistetyn alikanta-aallon keskitaajuus on sellainen, että sen viereisten alikanta-aaltojen taajuusakselin teho on nolla. Tällöin kanta-aaltojen välinen häiriö on minimaalinen ja taajuuden tehokas monikäyttö on mahdollista. Tämä toteutus on havainnollistettu kuvassa 10. Tekniikasta saatavia hyötyjä on spektritehokkuus ja solujen välisen häiriön minimoiminen. (10, s. 69.)



KUVA 11. OFDMA-kanta-aalto (8, s. 471)

DL-suunnassa käytettävän OFDMA-tekniikan käyttäminen UL-suunnassa ei ole kannattavaa, koska SC-FDMA tarjoaa yksinkertaisemman ja kevyemmän toteutuksen varsinkin päätelaitteiden kannalta. Kuvassa 12 on esitettyä taajuusakselilla SC-FDMA:n ja OFDMA:n ero. OFDMA:ssa päätelaitteelle myönnetyt resurssilohkot eivät ole taajuussidonnaisia. (8, s. 468.)

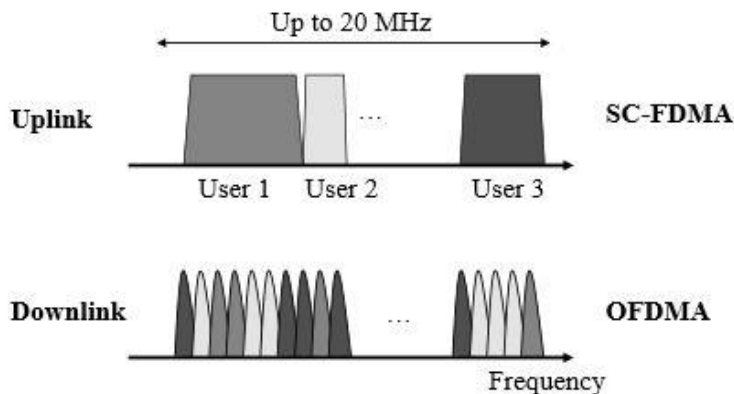


Figure 1.7 LTE multiple access schemes

KUVA 12. OFDMA:n ja SC-FDMA:n ero taajuusakselilla (10, s. 6)

## 3.2 Datapalveluiden suorituskyvyn määrittäminen

### 3.2.1 GSM

GSM-järjestelmän käyttämissä GPRS- ja EDGE-datapalveluissa siirtonopeudet määräytyvät päätelaitteelle myönnettyjen aikavälien määrästä ja siirtokanavalla käytettävän kanavakoodaus- ja modulaatiomenetelmän mukaisesti. Luvussa 3.1.1 esitellyn GSM:n monikäyttökäytännön TDMA-kehiksestä päätelaitteen on teoriassa mahdollista käyttää kaikkia kahdeksaa aikaväliä, mikäli verkon kuormitus sen mahdollistaa. Kuvassa 13 on esitettyinä kanavakoodausluokat, joista CS-1–CS-4 (Modulation Scheme) on GPRS:ään kuuluvia koodausluokkia ja MCS-1–MCS-9 (Modulation and Coding Scheme) on EDGE:n tuomia koodausluokkia. GPRS:n koodausluokat ja EDGE:n MCS-1–MCS-5-luokat käyttävät GMSK-modulaatiota (Gaussian Minimum Shift Keying). EDGE:n suurimpia bittinopeuksia tarjoavat MCS-5–9-luokat käyttävät 8-PSK-modulaatiota (Octagonal Phase Shift Keying). Modulaatioiden toteutus on esitettyinä myöhemmässä 3.2.4-luvussa. Päätelaitteen käyttäessä MCS-9-koodausluokkaa ja kahdeksaa aikaväliä on mahdollista teoriassa saavuttaa 473,6 kbit/s:n siirtonopeus. (1, s. 160–162; 7, s. 237.)

	Coding scheme	Modulation	RLC blocks/ radio blocks	FEC code rate	User bits/20 ms	Bit rate (bps)
GPRS	CS-1	GMSK	1	0.45	160	8 000
	CS-2		1	0.65	240	12 000
	CS-3		1	0.75	288	14 400
	CS-4		1	n/a	400	20 000
EGPRS	MCS-1	8-PSK	1	0.53	176	8 800
	MCS-2		1	0.66	224	11 200
	MCS-3		1	0.85	296	14 800
	MCS-4		1	1.00	352	17 600
	MCS-5		1	0.38	448	22 400
	MCS-6		1	0.49	592	29 600
	MCS-7		2	0.76	448 + 448	44 800
	MCS-8		2	0.92	544 + 544	54 400
	MCS-9		2	1.00	592 + 592	59 200

KUVA 13. GSM:n ja EDGE:n kanavakoodausluokat (7, s. 238)

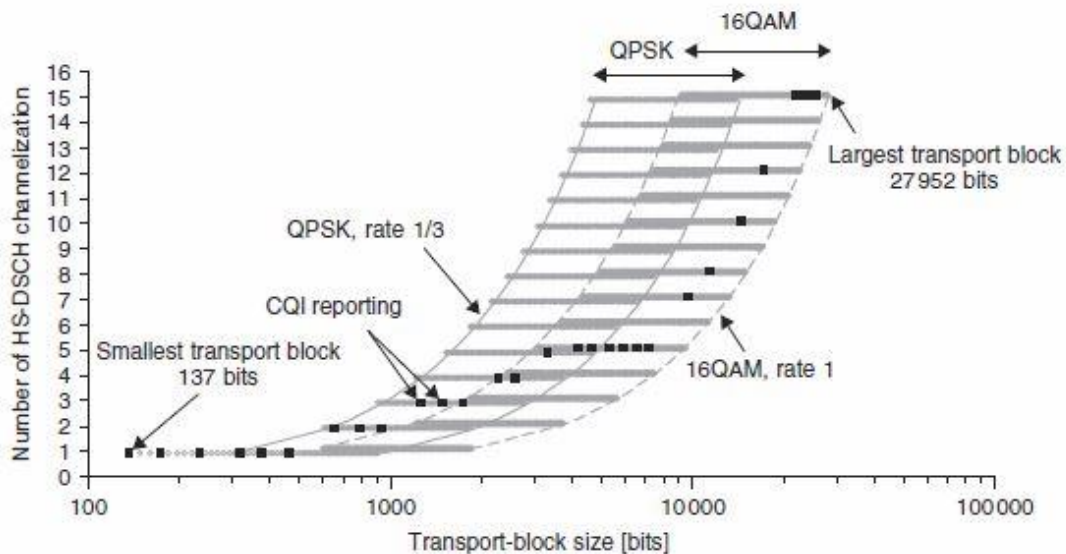
Käytettävän koodausmenetelmän selvittämisessä BSC:llä sijaitseva linkkisovitus (Link Adaptation) vastaa myös radiotien laadun mittauksesta. Laadun mittauksessa tutkitaan käytettävän radiokanavan häiriötasoa ja signaalin laatua. Mittauksen pohjalta kanavan laatua voidaan arvioida C/I- (Carrier/Inteference), BLER- (Block-Error Rate) tai BEP-arvon (Bit Error Probability) mukaan. (7, s. 247–248.)

### 3.2.2 UMTS

UMTS:ssa käytettävien datapalveluiden siirtonopeuden määrittäviä päätekijöitä ovat periaatteessa hyvin pitkälti samat kokonaisuudet kuin GSM:ssä eli radiokanavan laatu, päätelaitteen ominaisuudet ja verkon resurssienhallinta. UMTS:n pakettipalveluiden siirtonopeuksien kannalta Release 5 -spesifikaation määrittelemä HSDPA-tekniikka (High-Speed Downlink Packet Access) oli käänteen tekevä julkaisu. Se mahdollistaa päätelaitteille nopealla HS-DSCH -kanavalla pakettidatan lähettämiseen maksimissaan 15 kanavointikoodia levityskertoimella 16. (2, s. 144.)

Käytettävien radioresurssien myöntämisen ajoituksesta vastaa tukiasemassa Scheduler-toiminnollisuus, joka ohjaa käyttäjälle käytettävät resurssit kanavan laadun muutosten mukaan. Radiokanavan laadun mittauksessa käytetään päätelaitteessa laskettavaa CQI-arvoa (Channel Quality Indicator) ilmaisemaan radiokanavan laatua. CQI-arvolla ilmoitetaan tukiasemalle korkein käytettävissä oleva lähetyshokkon koko, modulaatiomenetelmä ja käytettävien kanavointikoodien määrä 2–160 ms:n välein. Arvon määrittely perustuu päätelaitteen arvioon siitä, millä parametreilla se kykenee vastaanottamaan lähetyksen ilman että BLER-arvo nousee liian suureksi. Näiden CQI-arvon parametrien muodostuksessa otetaan lisäksi huomioon päätelaitteen tukemat tekniikat. Tämä määrittää ensisijaisesti, mitä modulaatiomenetelmiä voidaan käyttää ja montako kanavointikoodia on enimmillään myönnettävissä. Kuvassa 14 on esitetty periaate, miten lähetyshokkon koko mukautuu suhteessa käytettävään modulaatioon ja kanavointikoodeihin HS-DSCH -kanavalla (High Speed Downlink Shared Channel). (2, s. 173–176; 8, s. 362.)





KUVA 14. Lähetyslohkon koon määrittely (2, s. 152)

Yksi merkittävä UMTS:n tiedonsiirtonopeuksia kasvattava ominaisuus on Release 7 -spesifikaatiossa määritelty MIMO-tuki (Multiple Input Multiple Output). Tämä mahdollistaa useamman lähettimen ja vastaanottimen käytön, mikä edesauttaa suurempien siirtonopeuksien saavuttamisessa. Tämän lisäksi on tullut Release 8- ja Release 9 -spesifikaatioiden myötä tuki käyttää UL- ja DL-suunnan liikenteessä kahden solun käyttämien 5 MHz:n kaistanleveyksiä yhtä aikaa. Tätä tekniikkaa kutsutaan DC-HSPA:ksi (Dual Carrier-High Speed Packet Access). DL-suunnan teoreettinen maksiminopeus DC-tekniikalla on 64QAM-modulaatiolla ja 15 kanavointikoodilla 42 Mbit/s. Tämän lisäksi on Release 10 -spesifikaatio määritellyt tuen neljän kantoaallon hyödyntämiselle. (2, s. 251; 8, s. 456.)

### 3.2.3 LTE

LTE-verkon päätelaitteille suotavien resurssien ja sitä myöten saavutettavan siirtonopeuden määrittely noudattelee hyvin paljon UMTS:n toteutusta. Järjestelmien poikkeavien monikäyttötekniikoiden johdosta päätelaitteelle myönnettävien resurssien myöntäminen poikkeaa toisistaan, mikä tulee huomioida CQI-mittauksessa. Käytännössä CQI-mittauksen suoritus toimii samalla tavalla tukiaseman ja päätelaitteen välillä, mutta tukiasemalla on käytettävissä CQI-kyseilyn suorittamiseksi säännöllinen ja epäsäännöllinen mittaus. Epäsäännöllisessä

kyselyssä tukiasema pyytää CQI-arvoa koko kaistanleveydeltä, mutta mahdollista on myös pyytää arvio tukiaseman ja päätelaitteen osoittamilta alitaajuuksilta. Säännöllisessä kyselyssä mittaus voidaan määrätä WCDMA:n tavoin suoritettavaksi 2–160 ms:n välein, ja se voidaan suorittaa koko kaistanleveydeltä tai päätelaitteen haluamilta alitaajuuksilta. UMTS:ssa laitteet jakavat saman 5 MHz:n kaistanleveyden, mutta LTE:ssä tulee huomioida myös taajuuden väliset vaihtelut. CQI-mittauksesta johdettava modulaatiomenetelmä ja kanavakoodaus eivät kuitenkaan poikkea käyttäjälle myönnettyjen 180 kHz:n resurssilohkojen välillä. (9, s. 209–214.)

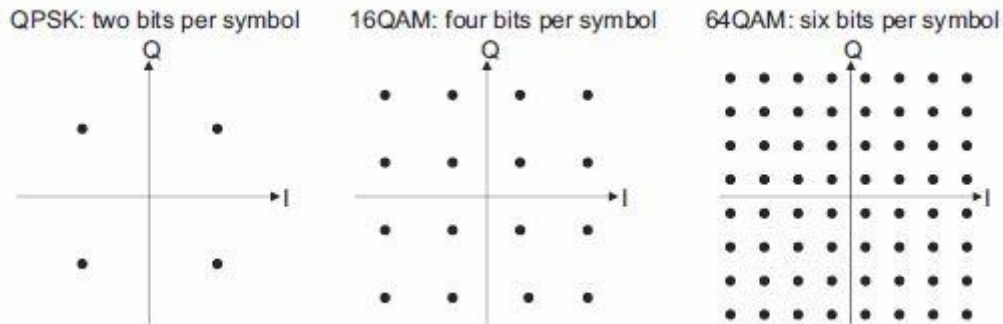
Verkon päätelaitteiden siirtonopeus ei ole pelkästään käytettävän radiokanavan laadusta riippuvainen. UMTS:n tavoin LTE:n tukiasemassa Scheduler-toiminnallisuus huolehtii verkkoresurssien tehokkaasta hyödyntämisestä ja palveluiden QoS-vaatimuksien huomioinnista. Viime kädessä Scheduler vastaa päätelaitteelle myönnettävistä resurssilohkoista. Tämän lisäksi LTE:ssä on myös tunnettu MIMO-ominaisuus, mikä edelleen kasvattaa järjestelmän tiedonsiirtonopeutta. 20 MHz:n kaistanleveydellä neljän lähettimen ja vastaanottimen MIMO-päätelaitteella teoreettinen siirtonopeus voi saavuttaa teoriassa 300 Mbit/s nopeuden. (1, s. 285; 3, s. 291; 10, s. 5.)

### **3.2.4 Modulaatiomenetelmät**

Datayhteyksien tiedonsiirrossa käytettävien modulaatioiden ominaisuudet määrittävät pitkälti sen kuinka suuria tiedonsiirtonopeuksia voidaan saavuttaa. Käytettävän modulaatiomenetelmän valinnan tulee perustua tavoiteltavan siirtonopeuden ja radiokanavan olosuhteiden vaikutuksiin. (2, s. 34.)

GSM:ssä käytettävä GMSK-modulaatio perustuu taajuusmodulaatioon ja 8-PSK-modulaatio sitä vastoin vaihemodulaatioon. GMSK:ssa symbolia kohti voidaan moduloida 1 bitti, kun taas 8-PSK:lla voidaan moduloida 3 bittiä. UMTS- ja LTE-järjestelmissä on käytettävissä samat modulaatiomenetelmät ja niiden konstellaatiokuviot on esitettyinä kuvassa 15. QPSK- (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM- (Quadrature Amplitude Modulation) ja 64QAM-modulaatiot

ovat kaikki vaihemodulaatioita, mutta 16QAM- ja 64QAM-modulaatioissa signaalin vaiheen muutoksen lisäksi sen amplitudi muuttuu. 64QAM mahdollistaa 6 bitin moduloinnin symbolia kohti. (1, s. 27; 2, s. 35; 7, s. 47.)



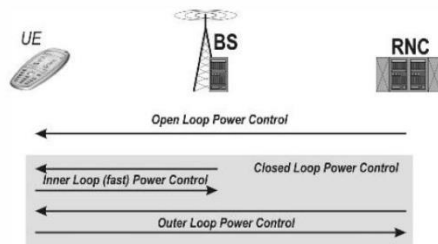
KUVA 15. LTE:n modulaatiomenetelmien konstellaatiokuvat (9, s. 186)

### 3.3 Tehonsäätö

Tehonsäätö on radorajapinnassa suoritettava lähetyksen teho sääteley verkko-vaikauden ja tehokkaan toiminnan varmistamiseksi. WCDMA:n radorajapinnassa käyttäjät jakavat saman laajakaistaisen kanavataajuuden, jolloin solun sisäisestä häiriöstä voi muodostua ongelma verkko-toiminnalle. Lähtökohtana UMTS:n tehonsäädössä on säätää päätelaitteiden tehotasoa radioverkon vaihtuvissa olosuhteissa sen mukaisesti, että lähetyksen teho on juuri niin suuri kuin on välttämätöntä palvelun vaatiman laadun saavuttamiseksi. Verkolle tehonsäädön puuttumisesta seuraava ongelma on near-far-ongelma, jossa yhden tukiasemalla lähellä toimivan päätelaitteen korkea tehotaso voi peittää muiden samaa kanavaa käyttävien laitteiden liikenteen. Tämän johdosta käytännössä esimerkiksi UL-suunnan tehonsäädöllä on tarkoitus ylläpitää tukiaseman päätelaitteilta vastaanottamat tehotasot samanarvoisina. (6, s. 81–83.)

UMTS-järjestelmässä käytettäviä tehonsäädön menetelmiä on hidas tehonsäätö (Open Loop Power Control) ja tätä tärkeämpi nopea tehonsäätö (Closed Loop Power Control). Jälkimmäinen menetelmä koostuu kahdesta erillisestä inner loop- ja outer loop -osasta. Molemmat menetelmät ovat käytössä UL-suunnassa, mutta hidas tehonsäätö ei ole käytössä DL-suunnassa. Kuvassa 16 on

nähtävissä menetelmien sijainti radiorajapinnan rakenteessa ja myös niiden toiminta radioverkon elementtien välillä. (6, s. 83–84.)



KUVA 16. WCDMA:n tehonsäätömenetelmät (6, s. 84)

### 3.3.1 Hidas tehonsäätö

Hidas tehonsäätö on ennen päätelaitteen verkkoon kytkeytymistä suoritettava tehonsäädön vaihe eikä sitä suoriteta kuin UL-suunnassa. Menetelmä ei ole tarkka, mutta menetelmän tavoite on antaa päätelaitteelle juuri riittävä lähetystehon taso vastaamaan radiotien vallitsevia olosuhteita. Menetelmää ei käytetä kun nopea tehonsäätö on käytössä. Kaavassa 1 on esitettyä tehonsäädön laskenta. Päätelaite mittaa tukiasemalta vastaanotettua RSCP-arvoa (Received Signal Code Power) CPICH-kanavalta (Common Pilot Channel), ja muut lähetystehon laskentaan käytettävät muuttujat päätelaite vastaanottaa järjestelmäsanomana BCCH-kanavalta (Broadcast Control Channel). (6, s. 84; 8, s. 55.)

$$Preamble\_Initial\_Power = Primary\ CPICH\ DL\ TX\ power - CPICH\_RSCP + UL\ interference + constant\ value \quad KAAVA\ 1$$

*Preamble\_Initial\_Power* = päätelaitteen lähetysteho

*Primary CPICH DL TX power* = CPICH-kanavan DL-suunnan lähetysteho

*CPICH\_RSCP* = CPICH-kanavan vastaanotettu RSCP-arvo

*UL interference* = UL-suunnan häiriö

*constant value* = verkon määrittämä offset

### 3.3.2 Nopea tehonsäätö

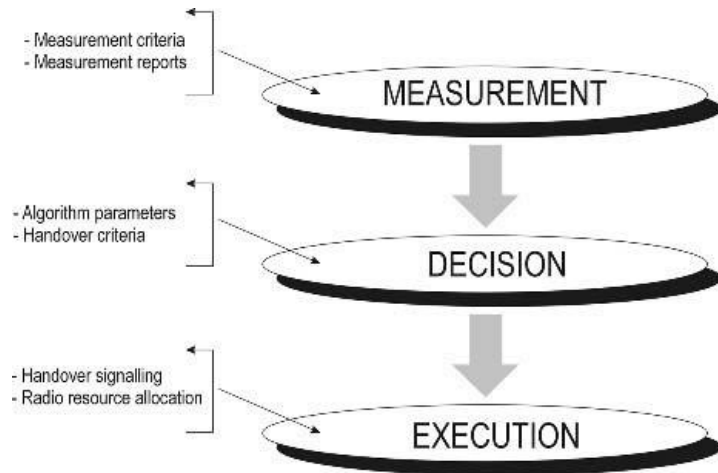
Nopean tehonsäädön menetelmässä inner loop -osassa varsinaisesti suoritetaan nopeaa tehonsäätöä. UL-suunnan tapauksessa tukiasema vertaa päätelaitteelta vastaanotetun signaalin SIR-arvoa (Signal to Interference Rate) tukiaseman tuntemaan SIR-tavoitearvoon (SIR target). Mikäli tukiaseman vastaanottaman signaalin SIR-arvo on alle tavoiterajan, tukiasema määrää TPC-sanomalla (Transmission Power Command) päätelaitetta nostamaan tehoa tai päinvastoin jos tavoiteraja ylittyy. Tukiasema säätää päätelaitteen tehotasoa 1500 kertaa sekunnissa, mikä eliminoi kanavalla nopeasti tapahtuvien muutosten kuten häipymien vaikutuksia lähetettävään signaaliin. (6, s. 85–86; 8, s. 55.)

Outer loop -osassa UL-suunnassa RNC ja DL-suunnassa päätelaite voi mitata radiokanavan laatua BLER- tai BER-arvolla (Bit Error Rate). UL-suunnassa RNC hienosäätää tämän tiedon pohjalta inner loop -osassa tukiasemassa käytettävää SIR-tavoitearvoa. Outer loop -menetelmään on myös tullut lisäys HSUPA-tekniikan (High-Speed Uplink Packet Access) mukana kehitetyn E-DCH-kanavan (Enhanced Dedicated Channel) myötä. E-DCH-kanavalla käytettävän hybrid ARQ -virheenkorjauksen (Hybrid Automatic Repeat reQuest) seurauksena kanavan laatua ilmaiseva BLER ei vastaa täysin kanavan tosiasiallista laatua, joten RNC:lle välitetään myös tieto uudelleenlähetysten määrästä. Yleisesti ottaen outer loop -osan tavoitteena on ylläpitää tavoitearvo juuri sillä tasolla, kuin on tarpeellista verkon toiminnan mahdollistamiseksi tuhlaamatta verkon resursseja. (2, s. 210; 6, s. 86; 8, s. 226.)

### 3.4 Kanavanvaihto

Kanavanvaihto mahdollistaa päätelaitteiden liikkuvuuden matkapuhelinjärjestelmän sisällä, kun päätelaitteen yhteyttä voidaan ylläpitää saumattomasti langattoman verkon tukiasemien välillä ja näin mahdollistaa verkon palveluiden jatkuva käyttäminen. Päätelaitteen kanavanvaihdosta saatava hyöty on myös päätelaitteen mahdollisuus ylläpitää yhteyden UL- ja DL-suunnan laatu vaadittavalla tasolla. Verkon toiminnan kannalta on myös mahdollista tasata verkon toimintaa suorittamalla kanavanvaihtoja ylikuormittuneesta tukiasemasta toiselle. Kuvassa 17 on esitettyä perusperiaate, joka kuvaa kanavanvaihdon toteutuksen

periaatetta kummassakin tarkasteltavassa järjestelmässä. Radiorajapinnassa suoritetaan yhteyden mittausta, kanavanvaihdosta vastaava osa päättää kanavanvaihdon suorittamisesta ja kanavanvaihto suoritetaan. (6, s. 72–73.)



KUVA 17. Kanavanvaihdon perusperiaate (6, s. 73)

### 3.4.1 GSM

GSM-järjestelmässä kanavanvaihto voi olla solun sisäinen (Intracell) aikavälin vaihdos, jossa puhelin vaihtaa häiriöttömämpään aikaväliin. Solujen väliset (Inter-cell) kanavanvaihdot voi tämän lisäksi tapahtua laajemmin verkon sisällä tukiasemiin, jotka toimivat eri BSC:n alaisuudessa. Tämän lisäksi kanavanvaihto voi tapahtua BSC-ohjaimia hallitsevien matkapuhelinkeskusten välillä tai muihin matkapuhelinjärjestelmiin. Periaatteessa kanavanvaihtoa kontrolloidaan BSC:ltä, mutta kanavanvaihdon tapahtuessa useamman BSC:n yli se vaatii myös MSC:n mukanaolon. BSC:n sisäisissä kanavanvaihdossa MSC ei ole tarpeellinen, mutta BSC:n tehtäviin kuuluu informoida sitä päätelaitteen kanavanvaihdosta. (1, s. 218.)

Kanavanvaihdon signaali tapahtuu nopealla FACCH-merkinantokanavalla (Fast Associated Control Channel). Kanavanvaihtoa edeltävän signaloinnin suorittaminen vaatii BSC:ltä sitä tukevien mittausraporttien vastaanottamista päätelaitteelta SACCH-kanavalta (Slow Associated Control Channel). Puhelun ollessa kytkettynä palvelevasta solusta ilmoitetaan mittausraporttina BSC:lle

kuusi parasta solua. Päätelaitteen suorittamassa mittauksessa seurataan käytössä olevan tukiaseman signaalitasoa (Rx Level) ja laatua (Rx Quality). Rx Level on tukiasemasta vastaanotetun signaalin keskiarvoistettu signaalitaso dBm:inä yhden SACCH-ylikehyksen ajalta. Rx Quality kuvastaa SACCH-ylikehyksen ajalta vastaanotetun signaalin keskiarvoistettua BER-arvoa (Bit Error Rate). Tämän lisäksi päätelaite seuraa naapurisolujen signaalitasoja ja tunnistaa naapurisolujen BSIC-tunnuksia (Base Station Identification Code) seuraamalla tukiasemien lähetyksiä BCCH-kanavalta. BSIC-tunnus mahdollistaa verkosta löytyvien tukiasemien erottamisen toisistaan. Mikäli palvelevan tukiaseman tehotaso tai laatu putoaa liian pieneksi, BSC ohjaa vaihtamaan raportoiduista naapurisoluista parhaimpaan tai solun sisäisesti eri aikaväliin. Tämän lisäksi kanavanvaihto tulee suorittaa, mikäli päätelaitteen ja tukiaseman välinen Timing Advance -arvo kasvaa liian suureksi. (1, s. 216; 14, s. 11.)

### **3.4.2 UMTS**

GSM:ssä suoritettavat kanavanvaihdot ovat luonteeltaan kovia kanavanvaihtoja (Hard Handover), jolloin yhteys palvelemaan soluun katkaistaan ennen kuin yhteys muodostetaan uuteen soluun. UMTS:ssa kova kanavanvaihto voi olla taajuuden sisäinen (intra-frequency) tai taajuuksien välinen (inter-frequency). Verkko mahdollistaa järjestelmän välisen (inter-system) kanavanvaihdon suorittamisen, joka on käytännössä toteutukseltaan taajuuksien välinen. Päätelaitte suorittaa samalla taajuudella olevien solujen mittausta jatkuvasti ollessaan verkkoon yhdistettynä. Taajuuden ja järjestelmän väliset mittaukset suoritetaan vain RNC:n käskystä, kun on tarve suorittaa mittauksen alainen kanavanvaihto. (6, s. 77; 8, s. 233, 245.)

Taajuuden välisten kanavanvaihtojen mahdollistamiseksi WCDMA:ssa on käytettävissä Compressed Mode -tila, joka tunnetaan myös nimellä Slotted Mode. Periaatteena toiminnossa on järjestelmän välisen kanavanvaihdon mittauksessa tiivistää päätelaitteen WCDMA-kehystä, jotta GSM-verkkoon suoritettavassa kanavanvaihdossa GSM-tukiaseman lähettämän BCCH-kanavan mittaaminen olisi mahdollista. RNC voi määrätä kanavanvaihdon suoritettavaksi saatuaan päätelaitteelta mittaustulokset ja kanavien BSIC-tunnukset. Näin voidaan esimerkiksi

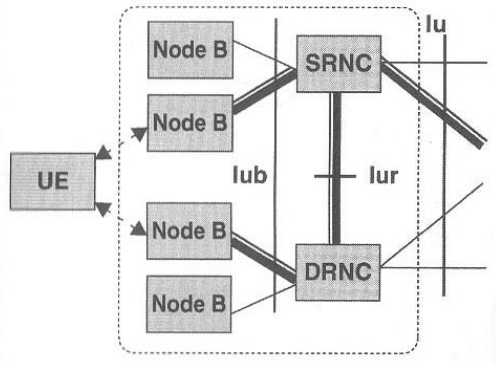
rinnakkaisten GSM- ja UMTS-järjestelmien peittoaluetta täydentää ja taata palveluiden jatkuva käytettävyys. (6, s. 78; 8, s. 241–245.)

WCDMA:ssa on kovan kanavanvaihdon lisäksi käytettävissä pehmeä (Soft Handover) ja pehmeämpi (Softer Handover) kanavanvaihto, jotka ovat ainoastaan taajuuden sisäisesti suoritettavissa. Periaatteena molemmissa tavoissa on ylläpitää päätelaitteella yhteyttä useampaan soluun ja nämä aktiiviset solut muodostavat Active Set -listan. Kanavanvaihto toteutuu, kun solun mittausten perusteella solu lisätään, poistetaan tai korvataan Active Set -listalta. Pehmeässä kanavanvaihdossa päätelaite on yhteydessä soluihin, jotka ovat eri tukiaseman sisäisiä tai mahdollisesti eri RNC:n alaisia tukiasemia. RNC:n välisen kanavanvaihdon suorittaminen vaatii Iur-rajapinnan RNC:iden välille. Pehmeämmässä kanavanvaihdossa päätelaite hallitsee useampaa yhteyttä soluihin, jotka ovat yhden tukiaseman sisäisiä. (6, s. 79; 8, s. 57, 232; 15, s. 16.)

Pehmeän ja pehmeämmän kanavanvaihdon yhteydessä toteutetaan radiotien diversiteettiä. Mikrodiversiteetti tarkoittaa monitie-etenemisestä seuranneiden radioaaltojen vastaanottamista, erottelua ja summaamista tukiaseman RAKE-vastaanottimella. Tämän lisäksi RNC:llä voidaan toteuttaa makrodiversiteettiä kun eri tukiasemilta vastaanotettu signaali summataan. (6, s. 80.)

Kuvassa 18 on esitettyä pehmeä kanavanvaihto, jolloin päätelaite on yhteydessä verkkoon useamman tukiaseman kautta ja ne ovat eri RNC:n alaisuudessa. Tällöin yksi RNC toimii ohjaavana RNC:nä (Serving RNC) ja toinen palvelevana RNC:nä (Drift RNC). Makrodiversiteetti toteutetaan tällaisessa tilanteessa summaamalla signaalit ohjaavassa RNC:ssä. (8, s. 79.)



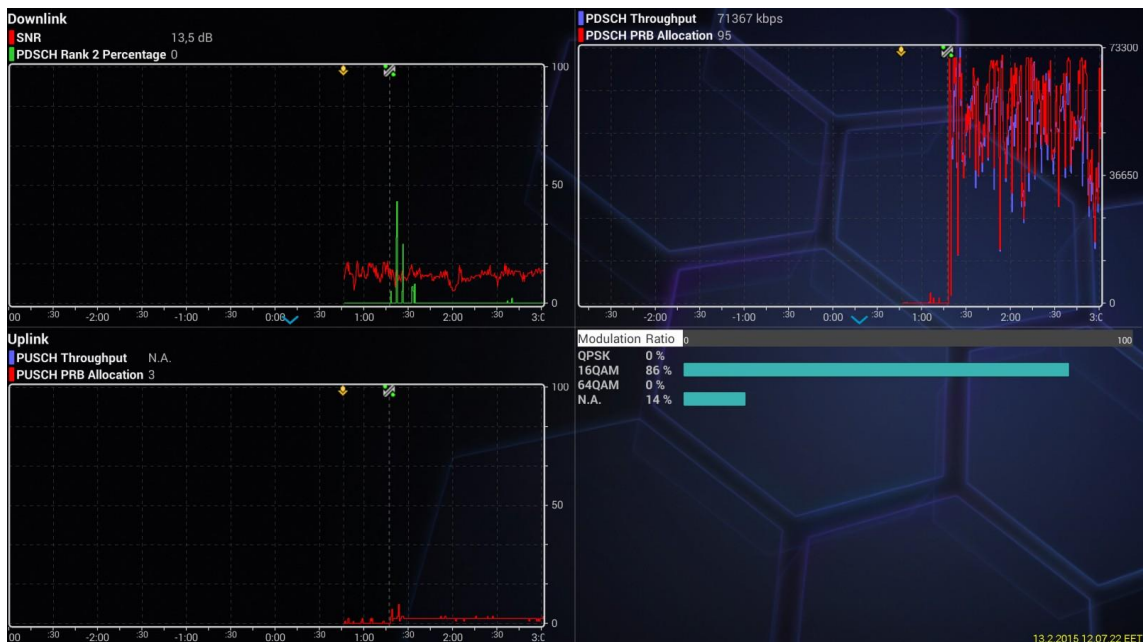


KUVA 18. Pehmeä kanavanvaihto (8, s. 79)

Yksi pehmeän kanavanvaihdon vaatimuksista on myös tarve säätää päätelaitteen tehotasoa molempien tukiasemien kautta, mikä estää near-far-ongelman ilmenemistä (8, s. 57–59).

## 4 MITTALAITTEET

Nemo Handy on Anite Finland Oy:n kehittämä Android-pohjainen mittausohjelma matkapuhelinverkkojen suorituskyvyn mittaamiseen. Nemo Handyn tuke-  
mia matkapuhelinjärjestelmiä ja tekniikoita ovat Suomessa yleisesti käytettä-  
vissä olevat GSM, WCDMA, HSPA, HSPA+ ja LTE. Mittausohjelmiston lai-  
tealustana toimii Samsung Note 10.1 2014 -tabletti, joka tarjoaa käytettäväksi  
yhdessä paketissa kevyen työkalun matkapuhelinverkkojen radorajapinnan  
suorituskyvyn tutkimiseen niin ulko- kuin sisätiloissa. Tallennettujen mittausten  
toistaminen on mahdollista ohjelman sisäisesti Playback-toiminnolla, ja tämän  
mittausdatan tarkastelu on mahdollista suorittaa esimerkiksi Nemo-tuoteper-  
heen Outdoor- ja Analyze-ohjelmissa. Kuvassa 19 on esitettyä Nemo Handyllä  
suoritettavan LTE-mittauksen tietoja. (16.)

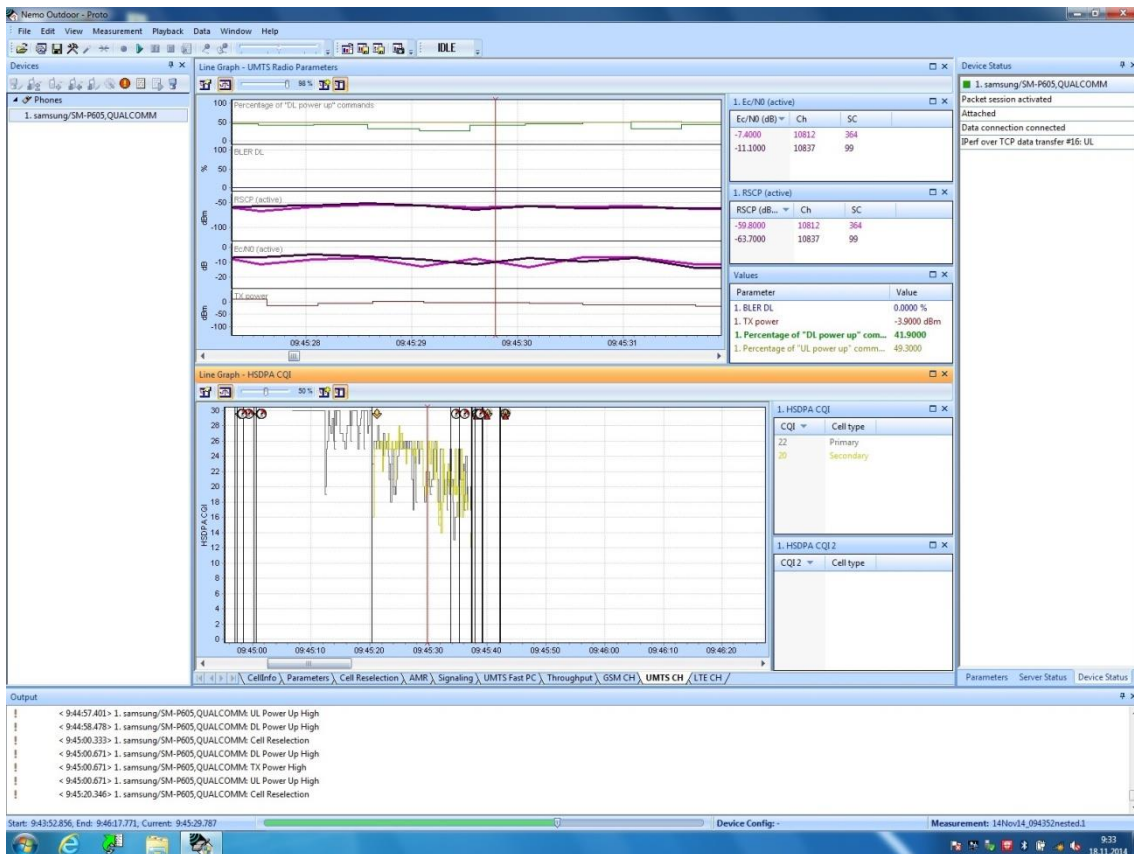


KUVA 19. LTE:n suorituskykymittaus Nemo Handyllä

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena olevien laboratoriotyöohjeiden suunnitte-  
lussa hyödynnetään ensisijaisesti Nemo Handyn tarjoamaa mahdollisuutta seu-  
rata reaaliaikaista rajapinnan signalointia ja radiokanavan suorituskykymittareita  
GSM-, UMTS- ja LTE-verkoissa. Laitteen käytettävyyden ansiosta opiskelijoille

on mahdollisuus tarjota ympäristö matkapuhelinverkkojen radorajapinnan mittauksiin vaihtelevissa olosuhteissa.

Nemo Handyllä suoritettujen reaaliaikaisten mittausten jatkotarkastelua suoritetaan Nemo-tuoteperheen Outdoor-ohjelmalla. Kannettavilla tietokoneille suunnattu Nemo Outdoor -ohjelmisto on kaiken kattava työkalu matkapuhelinverkkojen suorituskyvyn mittaamiseen. Suunnitelluissa laboratoriotyöohjeissa Nemo Outdoor tarjoaa mahdollisuuden tarkastella syvällisemmin Nemo Handyllä suoritettuja mittauksia, ja kuvassa 20 on nähtävissä esimerkki UMTS-radiokanavan tarkastelusta. (17.)



KUVA 20. UMTS-radiokanavan tarkastelu Nemo Outdoor-ohjelmalla

## 5 TYÖOHJEIDEN SUUNNITTELU

### 5.1 Työohje 1

Ensimmäisessä työohjeessa on tarkoitus perehtyä UMTS-verkon puhelunmuodostukseen ja toimintaan puhelun aikana. Työn toisen vaiheen on tarkoitus perehdyttää opiskelijat GSM-, UMTS- ja LTE-verkkojen suorituskyvyn mittauksiin ja Nemo Handy -mittalaitteen ominaisuuksiin.

Työohjeessa otetaan ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltavaksi puhelimesta alkava puhelu eli MOC. Asiaan perehdyttämiseksi työohjeen liitteenä on käytettävissä MOC-puhelun prosessikaavio. Kaavion avulla opiskelijan on tarkoitus saada selkeä käsitys radioverkon välisistä rooleista puhelun aikana ja nähdä puhelun muodostamiseen vaadittavan sanomavaihdon eri vaiheet. Puhelun prosessikuvaajassa on yksityiskohtaisesti kuvattu ja selitetty puhelun muodostuksen vaiheisiin kuuluvat sanomat verkon elementtien välillä. Tätä prosessikaaviota hyödyntäen opiskelijoiden tulee verrata Nemo Handy -mittalaitteella suoritettua puhelun kanavanvaihtoa käytössä olevaan kaavioon.

Puhelunmuodostuksen lisäksi opiskelijat perehtyvät mittalaitteen tarjoamiin mittausarvoihin UMTS-verkon radiatorajapinnassa. Mittausympäristönä toimivat laboratoriotila ja siihen kuuluvat radiokaiuton huone. Periaatteena tällä työvaiheella on havainnoida radiatorajapinnan vastaanotetun signaalin mittausta ja vastaanotetun signaalitason muutosta vaihtelevissa olosuhteissa.

Tämän työvaiheen jälkeen opiskelijoiden tehtävänä on tutustua mittalaitteen toisto-ominaisuudella laitteen muistista löytyvään mittauslokiin, joka sisältää tätä työtä varten luodun UMTS-puhelun lokin. Aiempien työvaiheiden perehdyttämänä opiskelijan tulee selvittää avainsanomien avulla, mihin numeroon yrittään yhdistää ja miten puhelun kytkentä onnistuu.

Viimeisessä Nemo Handyn mittausvaiheessa opiskelijat tutustuvat GSM-, UMTS- ja LTE-järjestelmien tiedonsiirron suorituskykyyn. Käytännössä työvaiheessa opiskelijoille havainnollistetaan eri sukupolven matkapuhelinjärjestel-

mien suorituskykyä. Koska työvaiheessa UMTS- ja LTE-järjestelmissä rajoittavana tekijänä ovat käytettävän mittalaitteen tekniset rajoitukset, niin opiskelijat myös selvittävät, mikä on testattavien tekniikoiden teoreettinen suorituskyky.

Työn lopuksi opiskelijoiden tulee tutustua käyttämäänsä mittalaitteeseen. Laboratoriotöiden perehdyttäessä matkapuhelinjärjestelmiin opiskelijoille on tässä pyrkimys osoittaa, mitä testausmenetelmiä ja mahdollisuuksia laite tarjoaa esimerkiksi matkapuhelinoperaattoreille oikeiden verkkojen suorituskyvyn ja palvelutason mittaamisessa.

## **5.2 Työohje 2**

Toisessa työohjeessa tarkastelun aiheena on UMTS-verkon tehonsäätö ja kanavanvaihto GSM- ja UMTS-verkossa.

Työ alkaa tutustumalla tehonsäädön toteutukseen UMTS-järjestelmässä. Nemo Handy -mittalaitteen käyttöliittymä kattaa monipuolisesti tehonsäätöön liittyvien mittauservojen tarkastelun. Ensimmäisessä vaiheessa opiskelijat perehtyvät mittalaitteen tarjoamiin mittauservoihin, ja esimerkkikuvan muodossa on tehtävänä selvittää, kuinka UMTS-järjestelmän tehonsäädön eri menetelmät on toteutettu radorajapinnassa. Työvaihe päätetään tehonsäädön mittauservojen tarkasteluun puhelun aikana. Puhelun aikana opiskelijoiden tulee liikkua laboratoriotilan ja samaan tilaan kuuluvan radiokaiuttoman huoneen välillä. Tässä mittauservoissa opiskelijat voivat konkreettisesti nähdä tehonsäädön käyttämien mittaparametrin muutokset, kun päätelaite pyrkii tehonsäädöllä vastaamaan radioyhteyden muutoksiin.

Työn toisessa vaiheessa tutustutaan GSM- ja UMTS-verkkojen kanavanvaihtoon Nemo Handy- ja Nemo Outdoor -ohjelmilla. GSM-työvaiheessa opiskelijoiden tulee tutustua työohjeen liitteenä olevan GSM-kanavanvaihdon kaavioon. Sen perusteella opiskelijat selvittävät kanavanvaihdon peruseriaatteet ja sen missä radioverkon osissa kanavanvaihdon suoritusvaiheet toteutetaan. Tämän jälkeen opiskelijat suorittavat Nemo Handyllä sisätilamittauksen koulun tiloissa.

Mittaus alkaa puhelun kytkennällä, minkä jälkeen opiskelijoiden tulee siirtyä kävellen laboratoriotilasta oppimiskeskuksen sisäänkäynnille, palata takaisin luokkaan ja lopettaa mittaus.

Tämän jälkeen opiskelijat siirtävät tallentamansa mittauslokin kannettavalle tietokoneelle, jossa on Nemo Handyllä suoritettujen mittauslokien tarkastelun mahdollistava Nemo Outdoor -ohjelma. Tämän avulla opiskelijat pääsevät tarkastelemaan yksityiskohtaisesti mittausraportin sisältöä ja päätelaitteella tapahtuneiden kanavanvaihtojen muutoksia käytettävissä aikaväleissä ja tukiasemissa.

Viimeinen työhjeen työvaihe on sulkea Outdoorista aiempi GSM-mittaus ja aukaista kannettavalta valmis UMTS-puhelun mittausloki. Työhjeessä annetaan liitteenä käytettäväksi pehmeän kanavanvaihdon prosessikuvaaja, josta opiskelijat voivat nähdä verkon elementtien välisen liikenteen pehmeän kanavanvaihdon aikana. Opiskelijoiden tulee tutustua, miten UMTS:ssa toteutettu pehmeä ja pehmeämpi kanavanvaihto toimii, ja tarkastella valmiissa mittauslokissa nähtävissä olevia kanavanvaihtoja.

## 6 YHTEENVETO

Työlle asetettu tavoite oli laboratoriotyöohjeiden suunnittelu matkapuhelinjärjestelmien mittauksiin Oulun ammattikorkeakoulun tietotekniikan opiskelijoille. Työohjeet suunniteltiin Nemo Handy- ja Nemo Outdoor -ohjelmilla suoritettavaksi. Työ alkoi tutustumalla käytettäviin mittalaitteisiin ja selvittämällä sen tarjoamat mahdollisuudet. Olennaisena osana prosessiin kuului tutkia työohjeissa käytettäviä järjestelmiä ja rajata yhdessä ohjaavan opettajan kanssa työohjeissa tutkittavia kokonaisuuksia. Koska työohjeet olivat ensimmäisen ja toisen vuoden opiskelijoille, tavoitteena oli luoda heidän lähtötasoaan ja oppimista tukevia laboratoriotöitä.

Suurimmaksi ongelmaksi töiden suunnittelussa muodostui työohjeissa käsiteltävien matkapuhelinjärjestelmien toiminnallisuuksien rajaaminen. Työohjeiden pituus oli rajoitettu kahteen tuntiin laboratoriotyöt sisältävien kurssien ohjelmissa, joten töiden suunnittelussa tuli valita keskeiset kokonaisuudet ja tarkasteltavat matkapuhelinjärjestelmät. Näiden asioiden yhteisvaikutuksesta suunnitelluissa työohjeissa jäi LTE:n tarkastelu pieneen rooliin, koska molemmissa työohjeissa GSM- ja UMTS-järjestelmät tarjosi hyvän alustan toimintojen mittauksiin. Tämä avaa jatkossa mahdollisuuden tuleville opinnäytetöille, joissa opiskelijat suunnittelevat LTE-mittauksiin keskittyviä työohjeita. Tämän lisäksi mittauksissa käytettiin valmiiksi luotuja mittaustiloja, jotta töiden suorittamiseen käytössä oleva aika voitiin käyttää hyväksi mahdollisimman tehokkaasti. Tästä syystä molemmissa mittauksissa hyödynnettiin mahdollisimman paljon Nemo Handyn reaaliaikaisia mittaustietoja radiorajapinnan tarkastelussa.

Työohjeiden rakentaminen oli mielenkiintoinen haaste ja tarjosi mainion mahdollisuuden syventyä Suomessa käytössä olevien matkapuhelinjärjestelmien tekniikkaan. Työssä sai hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla opinnoissa saatua pohjatietoa ja syvennettyä kokonaisvaltaista käsitystä järjestelmistä ja niiden tekniikasta. Mielenkiintoisena ja antoisana vaiheena suunnittelussa oli myös mahdollisuus tutustua mittaohjelmien ominaisuuksiin ja mahdollisuuksiin töiden toteuttamiseksi.

## LÄHTEET

1. Penttinen, Jyrki 2000. GSM-tekniikka: Järjestelmän toiminta, palvelut ja suunnittelu. Vantaa: WSOY.
2. Dahlman, Erik – Parkvall, Stefan – Sköld, Johan – Beming, Per 2008. 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband. Amsterdam: Academic Press.
3. Halonen, Antti – Rauhala, Harri – Suomi, Henna 2015. Kasvua digitalisaatiosta - Uusien taajuusalueiden mahdollisuudet. VALOR. Saatavissa: <https://www.dna.fi/documents/15219/28449/Kasvua+digitalisaatiosta+-raportti/b371acbb-ef03-4677-967c-01cf7160cdc3>. Hakupäivä 31.1.2015.
4. Matkaviestinverkon kuuluvuus. 2015. Viestintävirasto. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/internetpuhelin/puhelin-jalaajakaistaliittymantoimivuus/matkaviestinverkonkuuluvuus.html>. Hakupäivä 31.1.2015.
5. Radiolupapäätökset. 2015. Viestintävirasto. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/ohjausjavalvonta/lupapaatokset/radiolupapaatokset.html>. Hakupäivä 31.1.2015.
6. Kaaranen, Heikki – Ahtiainen, Ari – Laitinen, Lauri – Naghian, Siamäk – Niemi, Valtteri 2001. UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
7. Halonen, Timo – Romero, Javier – Melero, Juan 2003. GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution Towards 3G/UMTS. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
8. Holma, Harri – Toskala, Antti 2010. WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
9. Sesia, Stefania – Toufik, Issam – Baker, Matthew 2009. LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. Hoboken, NY: John Wiley & Sons, Ltd.



10. Holma, Harri – Toskala, Antti 2009. LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
11. Dahlman, Erik – Parkvall, Stevan – Sköld, Johan 2011. 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Oxford: Academic Press.
12. LTE Advanced. 2013. 3GPP. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>. Hakupäivä 31.1.2015.
13. Kreher, Ralf – Rüdebusch, Torsten 2005. UMTS Signalling: UMTS Interfaces, Protocols, Message Flows and Procedures Analyzed and Explained. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
14. Specification TS 05.08 Radio subsystem link control version 8.23.0. 2005 3GPP. Saatavissa: [http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/05\\_series/05.08/0508-8n0.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/05_series/05.08/0508-8n0.zip). Hakupäivä 25.1.2015.
15. Specification TR 25.922 Radio resource management strategies version 7.1.0. 2007. 3GPP. Saatavissa: [http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25\\_series/25.922/25922-710.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.922/25922-710.zip). Hakupäivä 25.1.2015.
16. Nemo Handy Brochure. 2014. Anite. Saatavissa: <http://www.anite.com/sites/default/files/Nemo%20Handy%20Brochure%20Nov%202014.pdf>. Hakupäivä 6.1.2015.
17. Nemo Outdoor Brochure. 2014. Anite. Saatavissa: <http://www.anite.com/sites/default/files/Nemo%20Outdoor%20Brochure%20Oct%202014.pdf>. Hakupäivä 6.1.2015

**Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikkö**  
**Tietoliikennelaboratorio**

**LABORATORIOTYÖOHJE**  
**Versio 8.2.2015**

## **GSM-, UMTS- JA LTE-RADIORAJAPINNAN MITTAUS I**

### **1. JOHDANTO**

Työssä perehdytään matkapuhelinjärjestelmiin Nemo Handy-A Pro -mittalaitteella. Tavoitteena on tutustua UMTS-verkon radiorajapinnan toimintaan puhelun aikana ja perehtyä yleisesti GSM-, UMTS- ja LTE-verkkojen suorituskykyyn.

### **2. TYÖKALUT**

- Samsung Note 10.1 2014 -tabletti sis. Nemo Handy-A Pro

### **3. TYÖN VALMISTELU**

Työ alkaa tabletin käynnistämällä. SIM-lukitus avautuu koodilla 0000. Nemo Handy -kuvake löytyy aloitussivun alareunasta. Ohjelman käynnistyttyä valitse aloitusruudun alareunasta Forcing-valikko.

### **4. MITTAUS**

#### **4.1 Puhelumittaus: UMTS**

Mittalaite saattaa pyrkiä alkutilanteessa edellisten mittausten jälkeen esimerkiksi 2G- tai 4G-verkkoon, joten laite pakotetaan oikeaan verkkoon. Valitse Forcing-valikosta System: WCDMA ja aktivoi järjestelmälukitus Activate-painikkeella.

Työohjeen lopussa on liitteenä UMTS-puhelun prosessikaavio radiorajapinnan ja runkoverkon väliltä. Tutustukaa ennen seuraavaa mittausta puhelun kaavioon ja vastatkaa seuraaviin kysymyksiin:

*-Mikä verkon elementti vastaa liikennekanavan myöntämisestä puhelua varten?*

*-Mikä on tukiaseman rooli puhelun kytkennässä?*

*-Millä sanomalla ilmoitetaan verkolle yhdistettävä numero?*

Aukaiskaa ennen puhelua valmiiksi auki Nemo Handyn ylävalikosta Signaling-ikkuna. Manual testing -valikosta (☎) valitaan Make Call. Soittakaa omaan puhelimeen, vastatkaa ja antakaa puhelun olla auki jonkin aikaa.

*-Tarkastelkaa verkon signalointia ja selvittäkää, mistä kukin vastaanotettu sanoma on saanut alkunsa?*

Seuraavaksi katsokaa Summary-valikosta nähtävissä olevia järjestelmän perustietoja. Ennen seuraavaa vaihetta selvittäkää, mitä seuraavat verkon tiedot tarkoittavat ja mihin Ec/No- ja RSCP-mittausarvoja voidaan hyödyntää UMTS-verkon toiminnassa:

*-Ec/No? (mihin voidaan hyödyntää?)*

*-RSCP? (mihin voidaan hyödyntää?)*

*-Scrambling code(s)?*

Seuraavaksi tutustutaan radiorajapinnan mittausarvoihin. Käynnistäkää puhelu ja antakaa sen olla päällä. Summary-välilehdeltä voi siirtyä oikealle selaamalla WCDMA cell measurements -valikkoon, jossa on nähtävissä käytössä oleva solu ja naapurisolut. Seuraavaksi siirytään tabletin kanssa laboratorion häiriösuojattuun huoneeseen.

*-Arvioikaa, kuinka merkittäviä muutoksia tapahtuu seurattavien solujen signaaliarvoissa?*

### **Valmiin puhelun tarkastelu**

Lopuksi palataan puhelun muodostukseen mutta käytetään siihen valmista mittausta. Avatkaa ☰-valikosta File Explorer ja Results-kansion alta rastitkaa oikeasta laidasta valmis mittaus: Handy\_tyohje1\_3G.1.nbl.gz. Mittauksen toisto käynnistyy painamalla ☰-valikosta Play-valintaa. Käyttäkää mittauksen tarkastelussa ruudun alareunan hallintatyökalua, jolla voi siirtyä mittauksen eri vaiheisiin tai pysäyttää toiston. Aukaiskaa tarkastelua varten Signaling-ikkuna, ja selvittäkää avatun mittauksen signaloinnista aiempia työvaiheita ja liitteen kaaviota hyödyntäen:

*-Mihin numeroon yritetään soittaa?*

*-Mitä puhelussa tapahtuu ja mikä aiheuttaa sen katkeamisen?*

Tämän jälkeen sulkekaa mittauksen toisto -valinnalla.

## **4.2 Datayhteys: GSM, UMTS ja LTE**

Lopuksi tutustutaan GSM-, UMTS- ja LTE-järjestelmien datayhteyksien suorituskyvyn vertailuun.

Manual Testing -valikosta valitaan Make FTP Transfer. Kohdepalvelin (Server) on ftp.funet.fi. Browse-toiminnolla valitkaa dev/1GBnull-tiedosto ladattavaksi ja aloittakaa tiedonsiirto. Kirjatkaa ylös Application throughput -ikkunan tuloksista saamanne maksiminopeus kullekin järjestelmälle, arvioikaa kunkin järjestelmän suorituskykyä ja vertailkaa keskimääräistä siirtonopeutta:

*-GSM:*

*-UMTS:*

*-LTE:*

Selvittäkää ja kirjatkaa ylös myös teoreettiset maksiminopeudet kussakin teknologiassa.

Arvioinnissa huomioikaa, että päätelaitteen suorituskyky on

- HSPA-verkossa Release 8 -kategorian 24 mukaisesti: 42,2 / 5,76 Mbit/s
- LTE-verkossa Release 9 -kategorian 4 mukaisesti: 150 / 50 Mbit/s

## **5. LISÄTEHTÄVÄT**

Perehtykää käyttämään Nemo Handy -mittaohjelmistoon valmistajan sivuilta <http://www.anite.com/>.

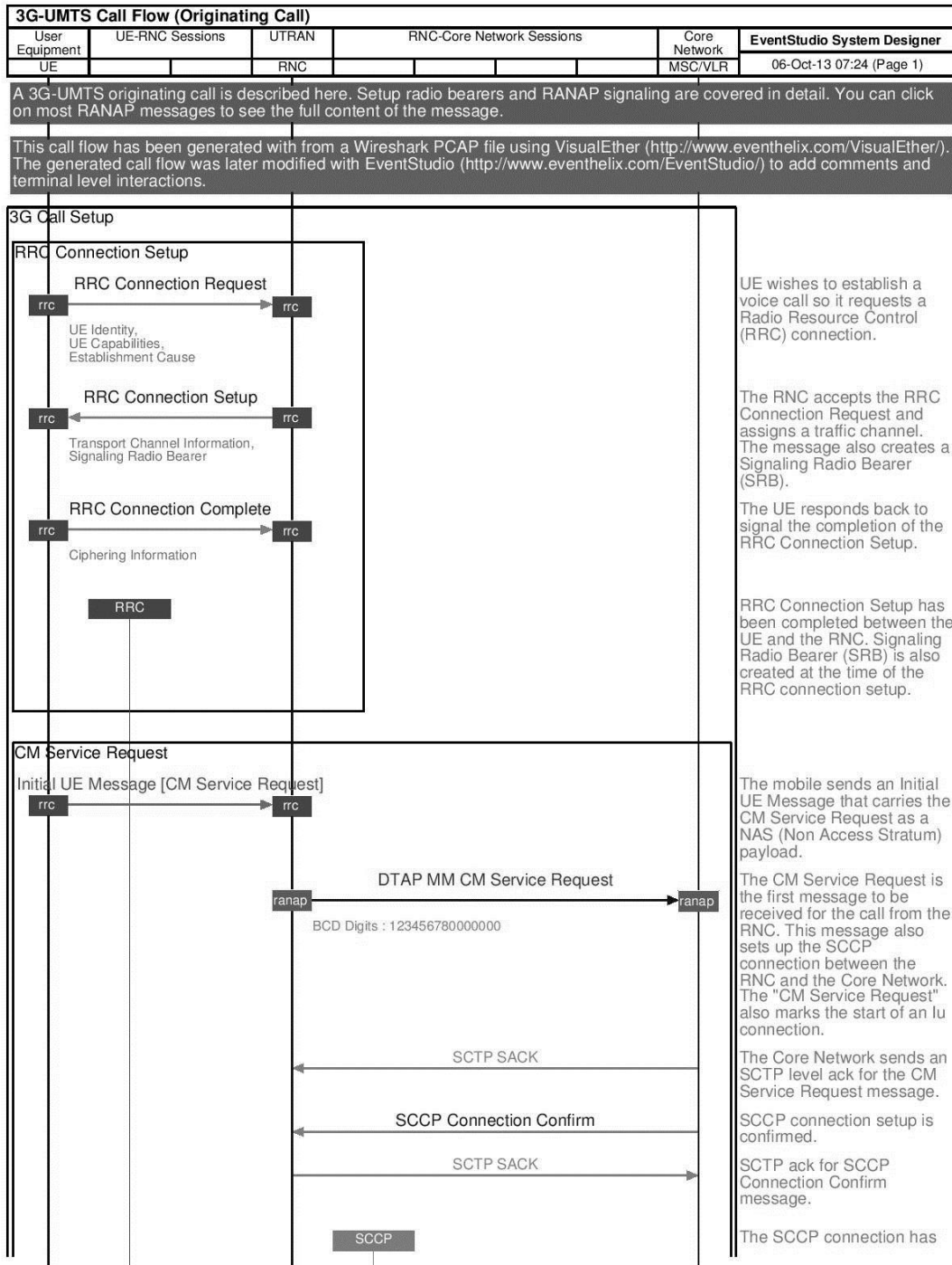
- Mitä testausmahdollisuuksia Nemo Handy tarjoaa matkapuhelinverkkojen testaajille?
- Kuinka operaattorit voivat hyödyntää laitetta omassa verkkoympäristössä?

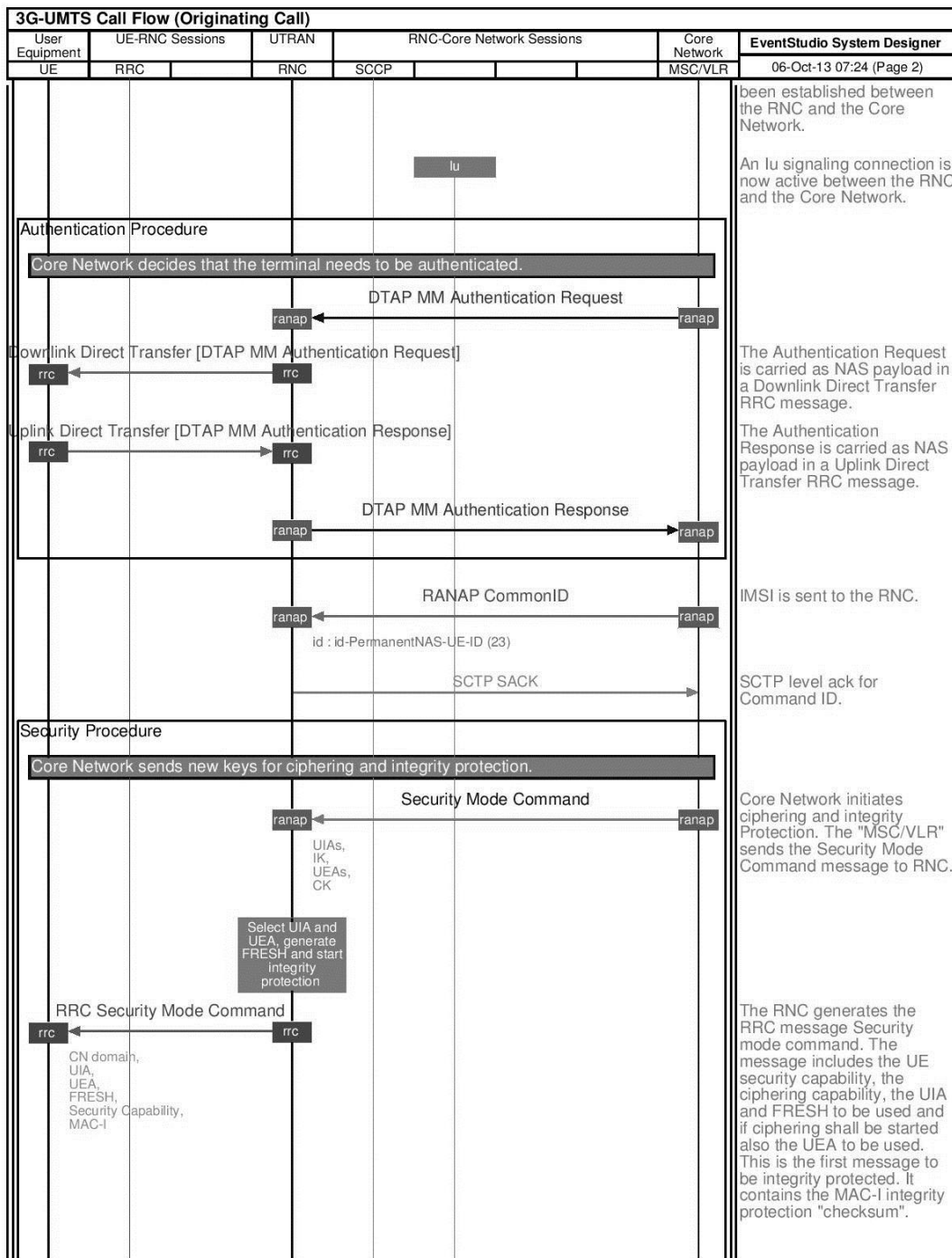
## LIITTEET

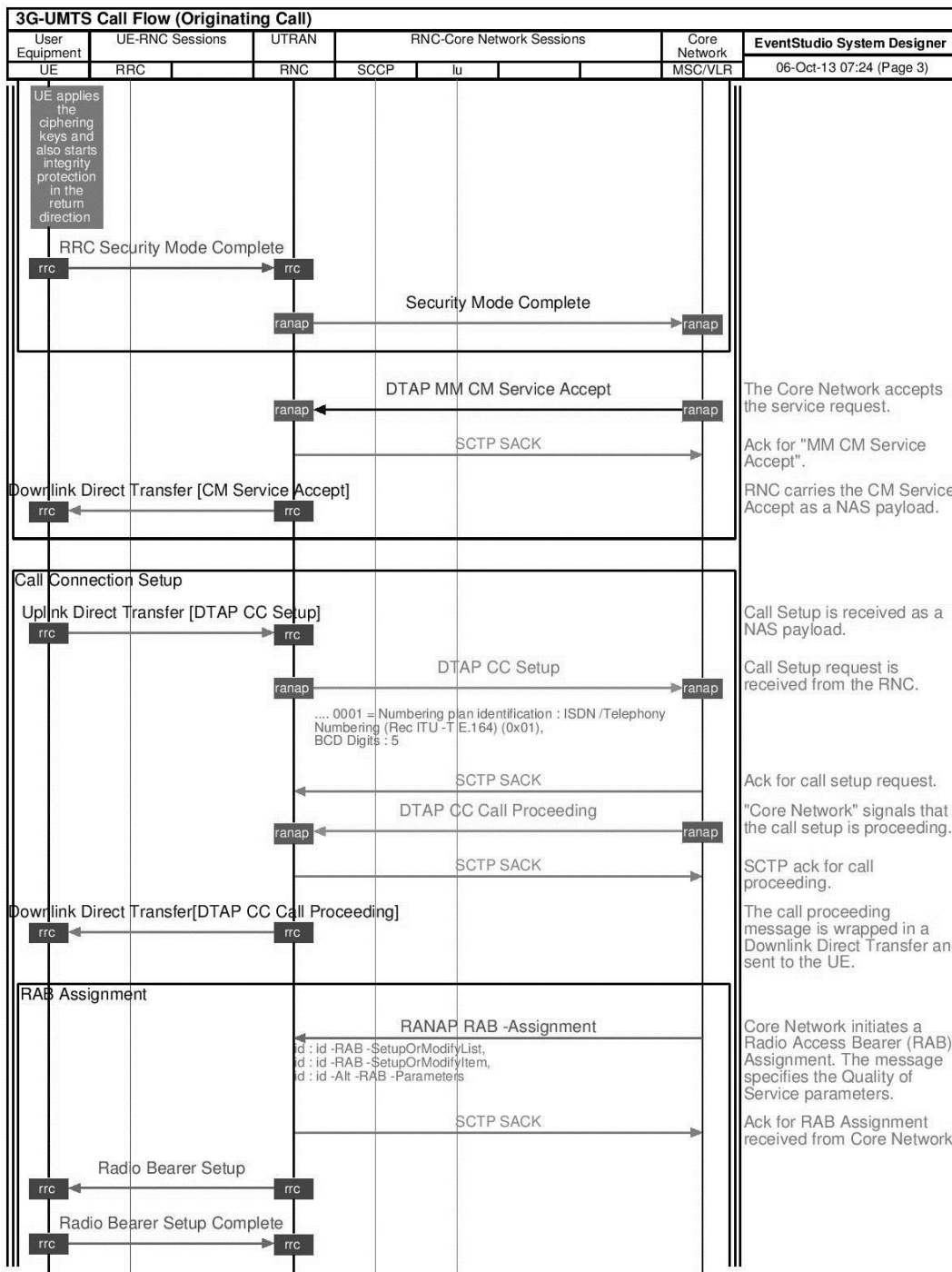
Mobile Originating Call Flow. 2015. EventHelix. Saatavissa:

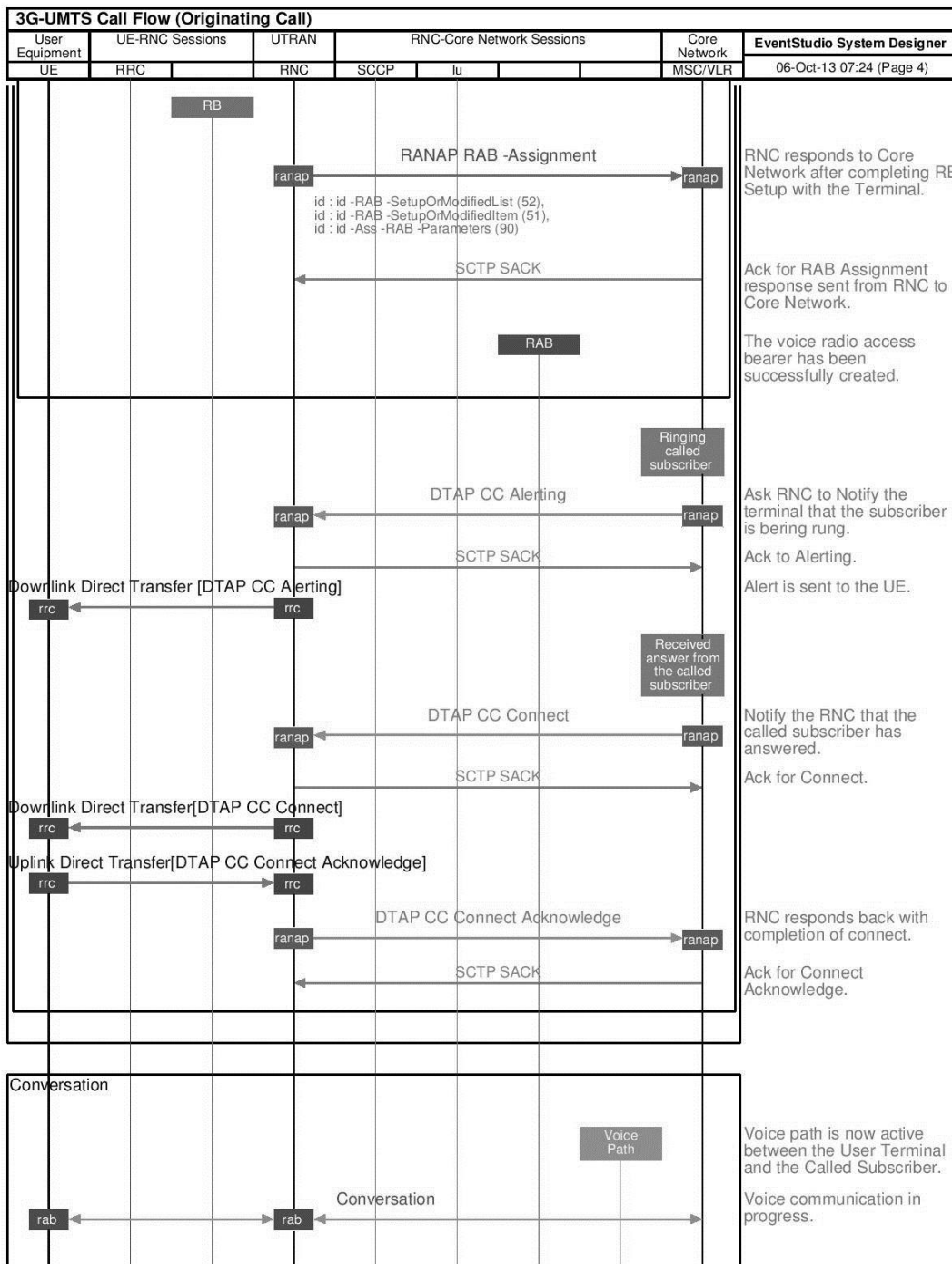
<http://www.eventhelix.com/umts/originating-call/3g-umts-originating-call.pdf>.

Hakupäivä 21.1.2015

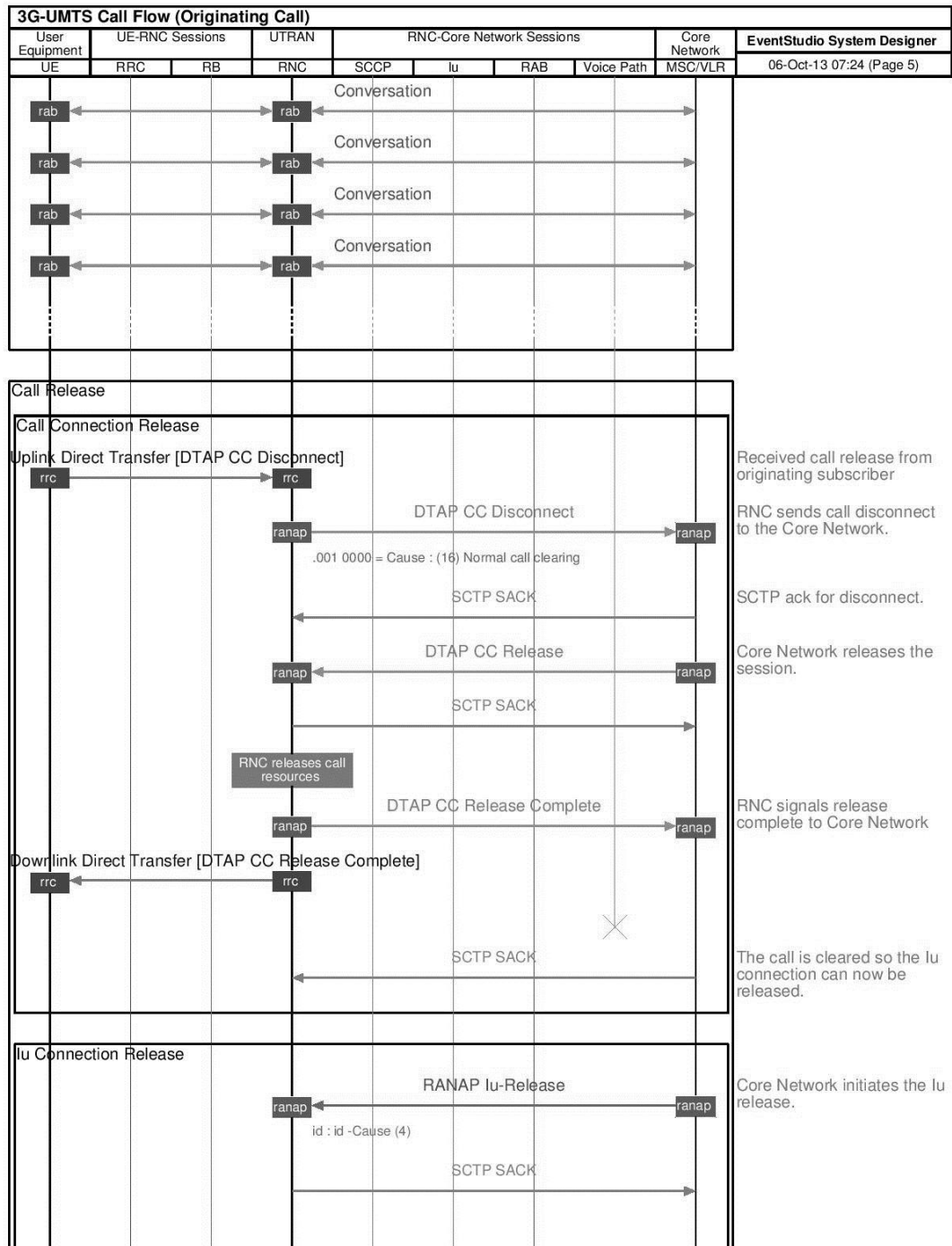


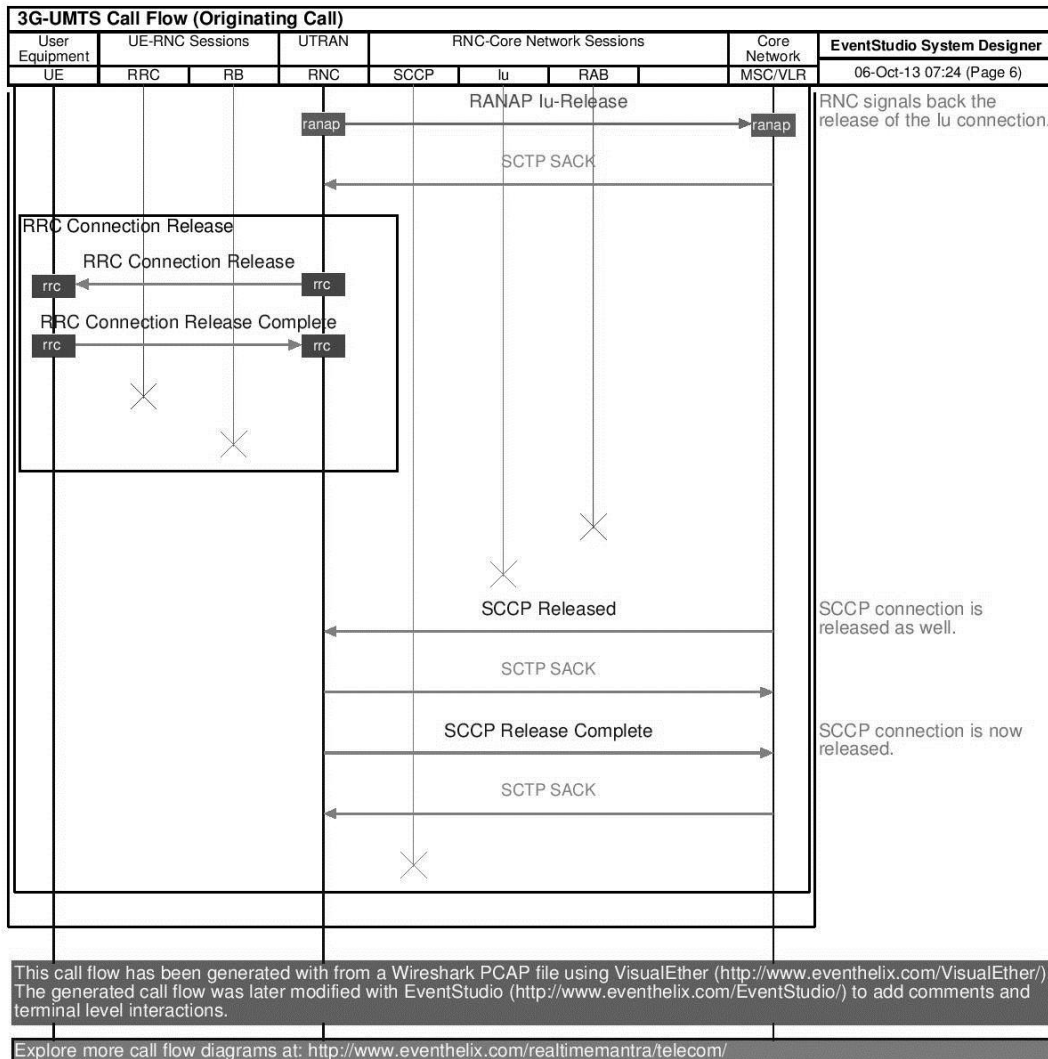












**Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikkö**  
**Tietoliikennelaboratorio**

**LABORATORIOTYÖOHJE**  
**Versio 8.2.2015**

## **GSM- JA UMTS-RADIORAJAPINNAN MITTAUS II**

### **1. JOHDANTO**

Työssä perehdytään matkapuhelinjärjestelmiin Nemo Handy-A Pro- ja Nemo Outdoor-mittaohjelmilla. Tavoitteena on tutustua puhelimen tehonsäätöön UMTS-verkossa, sekä kanavanvaihtoon GSM- ja UMTS-puhelun aikana.

### **2. TYÖKALUT**

- Samsung Note 10.1 2014 tabletti sis. Nemo Handy-A Pro
- Lenovo ThinkPad SL300 kannettava tietokone sis. Nemo Outdoor -ohjelma
- Nemo Outdoorin USB-lisenssimoduuli ("Nemo Outdoor Playback")

### **3. TYÖN VALMISTELU**

Työ alkaa tabletin ja kannettavan tietokoneen käynnistämällä. Tabletin SIM-lukitus avautuu koodilla 0000 ja ThinkPad-työasemaan kirjaudutaan tunnuksilla:

u: *TYOL-TLL-A01\verkkolabra*      pw: *tieto123*

Kannettavan Nemo Outdoor -ohjelmaa varten tarvitaan Nemo Handyn kantolaukusta löytyvä musta lisenssimoduuli, joka tulee kytkeä kannettavan USB-porttiin ennen Outdoor-sovelluksen käynnistystä.

### **4. NEMO HANDY MITTAUKSET**

#### **4.1 UMTS: Tehonsäätö**

Ensin laite tulee pakottaa 3G-verkkoon. Valitse Forcing-valikosta System: *WCDMA* ja aktivoi järjestelmälukitus *Activate*-painikkeella.

UMTS:n radorajapinnan tehonsäätöarvojen tarkastelemiseksi tulee siirtyä *WCDMA*-ikkunaan, jossa on nähtävissä tiedot *SIR-*, *BLER-* ja *RSCP-*arvoista. Sininen nuoli ikkunan ylä- ja alareunassa ilmaisee, että ikkunassa on useampi

väliruutu. SIR-arvo on nähtävissä alaosan eri välilehdellä. Väliruutujen välillä voi siirtyä ylös-alas -pyyhkäisyllä.

Periaatetasolla selvittääkää:

*-Mitä esitetyt käsitteet SIR, RSCP ja BLER tarkoittavat?*

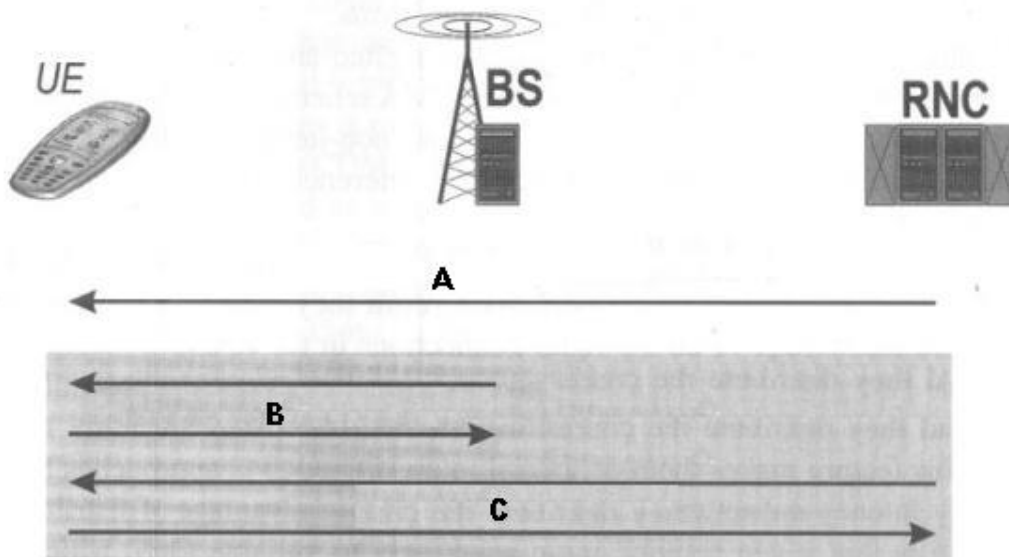
*-Kerro miksi tehonsäätö WCDMA-järjestelmässä on merkittävässä asemassa ja miten near-far -ongelma liittyy kokonaisuuteen?*

-Selvittäkää, mitä tehonsäädön malleja A, B ja C ovat alla esitetystä kuvassa. Tutustu ja kuvaile lyhyesti menetelmät, sekä se miten Nemo Handyssä nähtäviä SIR-, RSCP- ja BLER-arvoja sovelletaan kunkin menetelmän toteutuksessa.

-A:

-B:

-C:



KUVA 1. UMTS:n tehonsäätömenetelmät

Lopuksi tarkastellaan tehonsäädön arvoja puhelun aikana. Valitse Manual testing -valikosta Make Call. Soittakaa omaan puhelimeen, vastatkaa ja siirtykää tabletin kanssa laboratorion häiriösuojattuun huoneeseen.

*-Mitä vaikutuksia huoneeseen siirtymisellä on aiemmin selvitettyihin SIR-, RSCP- ja BLER-arvoihin, sekä lähetystehoon (TX Power) ja tehonsäädön komentoihin (Pwr Up)?*

## 4.2 Kanavanvaihto

### 4.2.1 GSM

Ensin tutustutaan työohjeen viimeisillä sivuilla liitteenä olevaan GSM-kanavanvaihdon prosessikaavioon radorajapinnan ja runkoverkon väliltä.

Kanavanvaihdon peruseriaate voidaan kuvata kolmivaiheisesti: Mittaus –Päätös – Suoritus. Selvittäkää kaavion avulla, mikä verkon elementti vastaa kunkin vaiheen suorittamisesta ja mitä tarkoittaa kova kanavanvaihto (Hard Handover)

*-Mittaus:*


*-Päätös:*


*-Suoritus:*

*-Kova kanavanvaihto:*

### Mittaus

Seuraavaksi suoritetaan kanavanvaihdon mittaus GSM-verkossa. Valitkaa Forcing-valikosta System: GSM-only ja aktivoikaa järjestelmälukitus Activate-painikkeella. Mittauksen lähtöpisteenä on tietotekniikan laboratorio, josta siirrytään kirjaston vieressä sijaitsevan oppimiskeskuksen sisäänkäynnille ja takaisin.

Ennen liikkeellelähtöä käynnistäkää lokin tallennus () ja valitkaa Manual testing -valikosta Make call. Määrittäkää soitettavaksi numeroksi oma puhelinnumero, aloittakaa puhelu ja kulkekaa määritelty reitti.

Voitte mittauksen aikana seurata GSM cell measurement -ikkunasta palvelevan solun ja naapurisolujen signaalitasoa, tai vaihtoehtoisesti Signaling-valikosta radiatorajapinnan signalointia. Saavuttuanne takaisin laboratorioon katkaiskaa puhelu ja lopettakaa mittauksen tallennus -painikkeella. Kirjatkaa mittauslokin nimi ylös, tai vaihtakaa lokin nimi *Rename*-toiminnolla haluamaanne muotoon. Tärkeintä on kuitenkin *Keep*-toiminnolla tallentaa mittaus laitteen muistiin.

Mittausten jälkeen mittausdata tulee siirtää kannettavalle tietokoneelle Outdoor-ohjelmaa varten. Tehkää siirto tablettiin kuuluvalla USB-latauskaapelilla. Kytkeäkää laite USB-kaapelilla koneeseen ja etsikää tietokoneen resurssihallinnasta kytketty laite. Kopioikaa Device Storage – Nemo – Handy – Results -kansioista mittaustiedosto kannettavan työpöydälle

**Huomio:** Tallennuskohteena tulee olla kannettavan tietokoneen työpöytä tai sinne kuuluva alikansio. Tällöin automaattinen Nemo File Manager -prosessi kääntää Nemo Handyn mittaustiedoston Outdoor-yhteensopivaksi ilman käyttäjän toimenpiteitä.

### **Mittauksen tarkastelu**

Tiedostojen siirryttyä onnistuneesti tietokoneelle siirrykää käyttämään kannettavan tietokoneen Outdoor-sovellusta. Valitkaa File-valikosta Open workspace, josta ottakaa työpohjaksi Proto Workspace. Open measurement -valikosta etsikää ja avatkaa suorittamanne mittaus. Mikäli mittauksena aikana ei ole tapahtunut kanavanvaihtoja, niin käyttäkää mittauksen tarkastelussa työpöydän 234G-PS -kansion mittaustiedostoa *14Dec04\_2G.1.nmf*

Ikkunan alareunassa on vetopalkki, jolla voi siirtyä mittauksessa eri osiin. Työtilassa on tarjolla välilehdet CellInfo – Parameteres – Cell reselection – AMR – Signaling. Valitkaa Signaling nähdäkseen mittauksen signalointitiedot ja selvittääkää seuraavat yksityiskohdat:

*-Mitä arvoja puhelin mittaa palvelevasta solusta?*

*-Millä parametrilla verkko mittaa naapurisolujen laadun, ja selvitä miten arvo mitataan päätelaitteessa?*

*-Montako kanavanvaihtoa on tapahtunut puhelun aikana?*

*-Mitkä ovat päätelaitteen puhelun aikana kanavanvaihtojen myötä käyttämät solutunnisteet ja aikavälit?*

CellInfo-välilehdeltä voi myös tarkastella kussakin kanavanvaihdossa määrätyn aikavälin numeron.

#### **4.2.2 UMTS**

Lopuksi tarkastellaan UMTS:n kanavanvaihtoa. File-valikosta sulkekaa vanha mittaus (Close measurement) ja Open measurement -toiminnolla etsikää ja avatkaa työpöydän 234G-PS-kansiosta mittaustiedosto 14Dec04\_3G.1.nmf. Lisäksi käytettävissä on sivun lopussa GSM-kanavanvaihdon liitteiden jälkeen yksi UMTS:n pehmeän kanavanvaihdon kuvaaja.

Signaling-ikkunasta voitte tarkastella liikennettä 3G-puhelun aikana. Myös Outdoorin työkaluriviltä Data-valikon alta löytyvästä Events Grid -alivalikosta löytyy Soft handover failures -luettelo. Painamalla Disable filters -painiketta näkyy puhelun aikana suoritettut Active Set Update -sanomat. Kaksoisklikkaamalla sanomia aukeavat jokaisen sanoman yksityiskohtaisemmat tiedot.

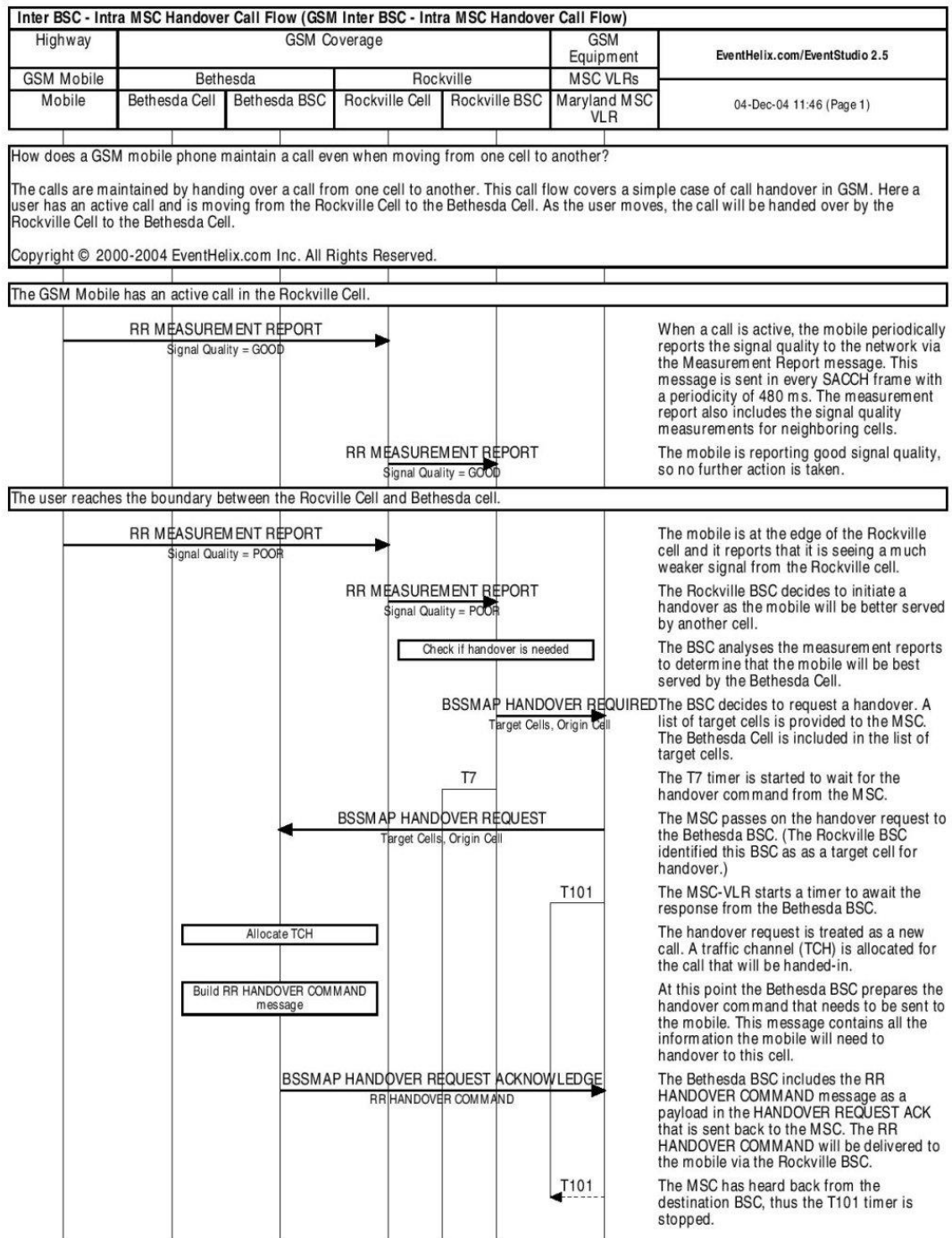
*-Selvittäkää ensin, miten pehmeä ja pehmeämpi kanavanvaihto poikkeaa kovasta kanavanvaihdosta?*

*-Mikä on Active Set Update -sanoman tehtävä kanavanvaihdossa?*

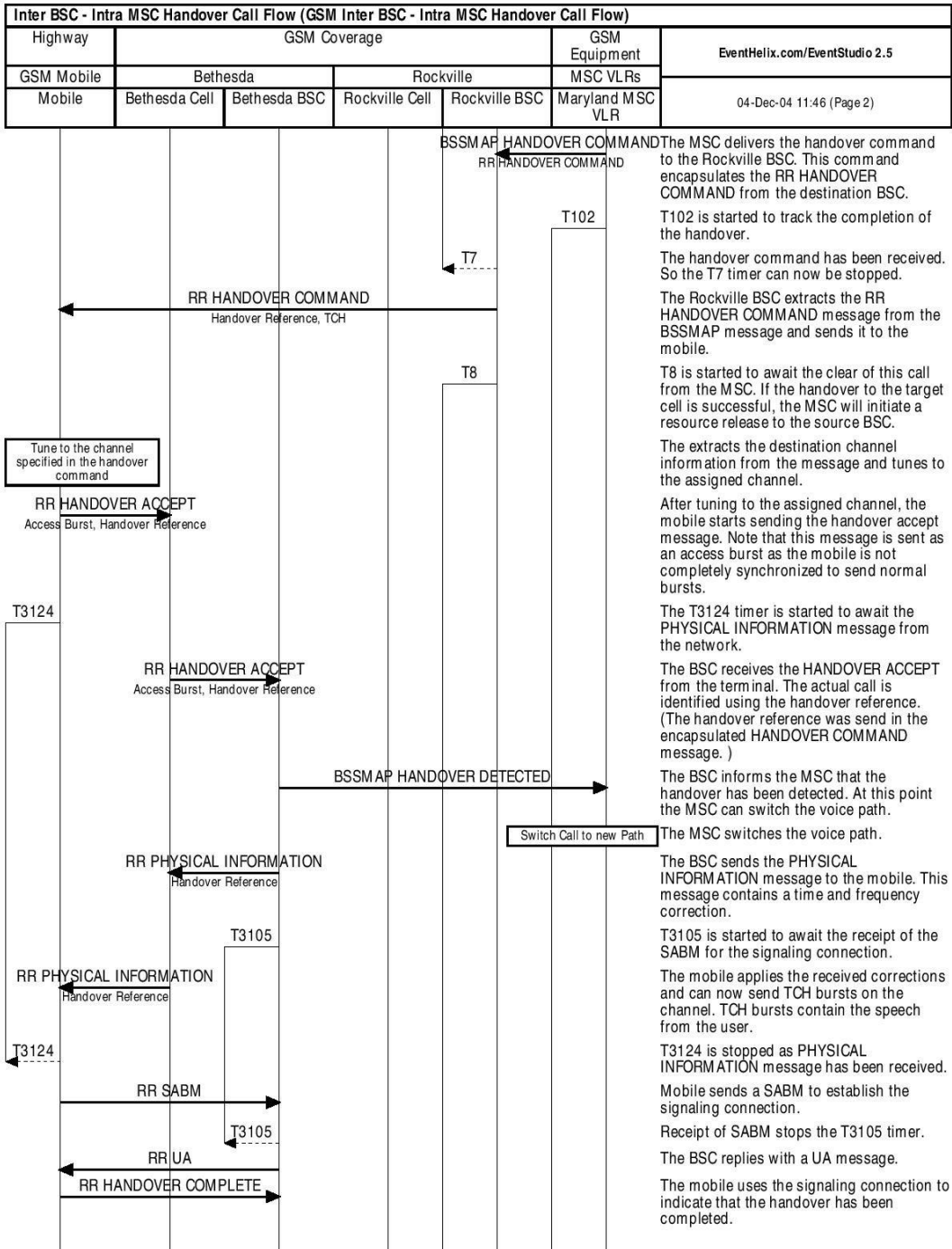
*-Arvioikaa kuinka usein kanavanvaihtoja tapahtuu puhelun aikana?*

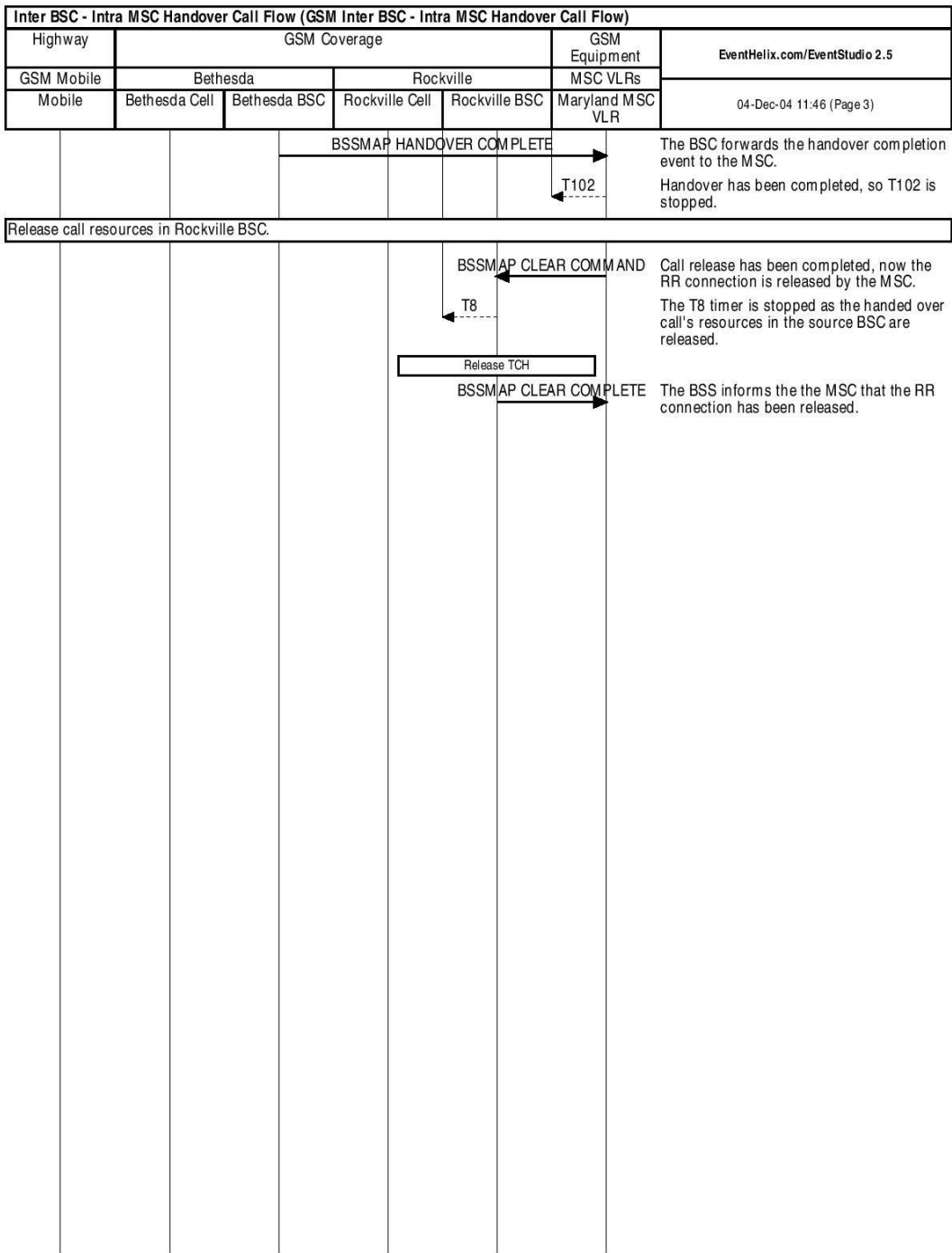
**LIITTEET**

GSM Handover Call Flow. 2015. *EventHelix*. Saatavissa: [http://www.eventhelix.com/RealtimeMantra/Telecom/GSM\\_Handover\\_Call\\_Flow.pdf](http://www.eventhelix.com/RealtimeMantra/Telecom/GSM_Handover_Call_Flow.pdf). Hakupäivä 21.1.2015.

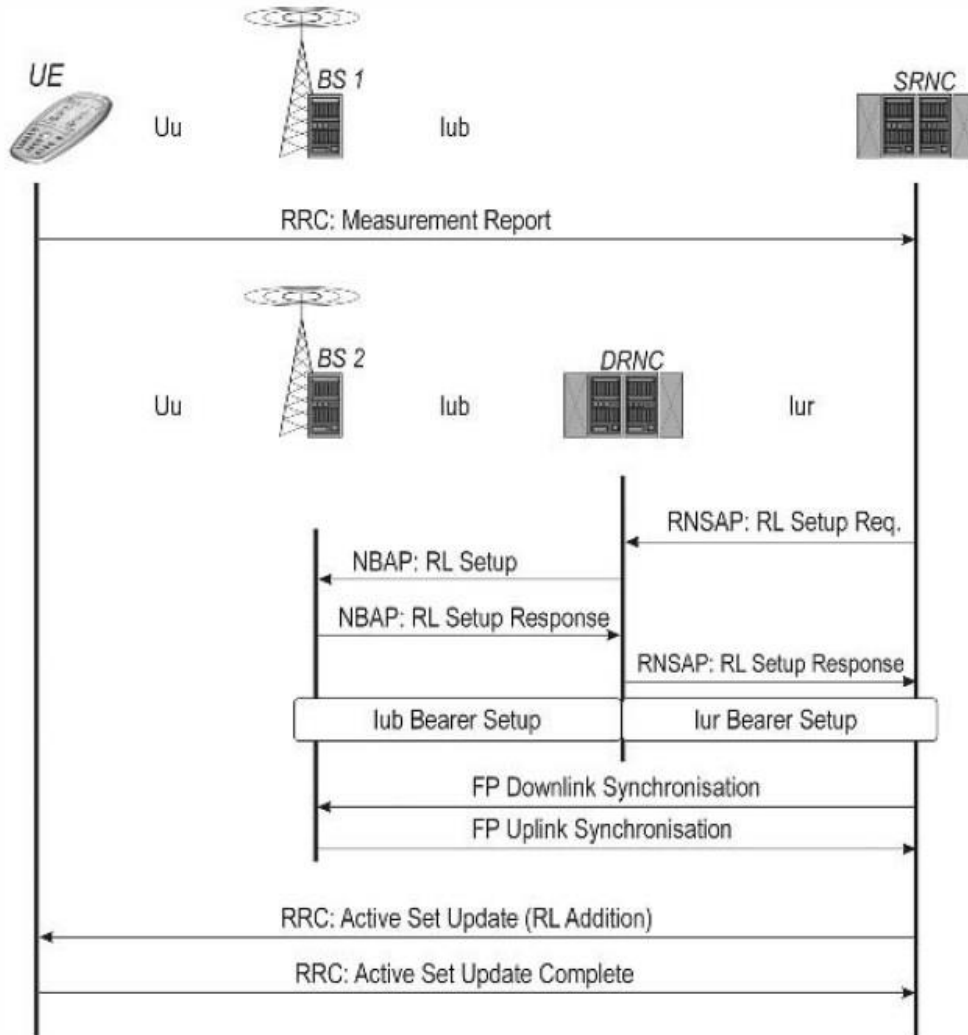








Kaaranen, Heikki – Ahtiainen, Ari – Laitinen, Lauri – Naghian, Siamäk – Niemi, Valtteri 2001. UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services. John Wiley & Sons, Ltd. S. 279.



KUVA 2. Pehmeä kanavanvaihto