

**TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA**

**Tietotekniikka**

**Tietoliikennetekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**3G-LABORATORIOVERKON RAKENTAMINEN JA  
RAJAPINTAMITTAUSTEN ANALYSOINTI**

**Työn tekijä: Jarno Toivio  
Työn valvoja: Seppo Lehtimäki  
Työn ohjaaja: Seppo Lehtimäki**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2007**

**Seppo Lehtimäki  
lehtori**

**INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ**

Tekijä: Jarno Toivio

Työn nimi: 3G-Laboratorioverkon rakentaminen ja rajapintamittausten analysointi

Päivämäärä: 10.11.2007

Sivumäärä: 41 s. + 1 liite

Koulutusohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka

Työn valvoja ja ohjaaja: lehtori Seppo Lehtimäki

Tässä insinööriyössä tutkittiin 3G-verkon rakennetta, tiedonsiirrossa käytettäviä protokollarakenteita ja tarkasteltiin UMTS -verkon ilmarajapintaa kirjallisuuden sekä WCDMA -analyysointia avulla.

Työssä perehdyttiin 3G-verkon rakenteeseen ja siinä käytettäviin verkkoelementteihin ja niiden välisissä ja sisäisissä tiedonsiirroissa käytettäviin protokollarakenteisiin. Päätelaitteen ja UTRA -verkon välillä tapahtuvaa liikennöintiä mitattiin WCDMA -analyysointilla. Mittaukset suoritettiin päätelaitteen kytkeytyessä verkkoon, kolmen erilaisen puhelun muodostuksen osalta sekä puhelunaikaisen yhteysvastuun vaihdon osalta.

Mittauksista saatiin tietoa hyvin monipuolisesti. Analyysointilla saatiin mitattua puhelimen verkkoon kytkeytymistä, puhelunaikaisia tapahtumia, Layer 2 ja Layer 3 -tason liikennettä sekä tukiasemiin liittyviä tietoja. Mittaustuloksia analyysoimalla saatiin tarkkoja tietoja matkaviestimen ja radioverkko-ohjaimen välisestä signaloinnista.

Mittaustulosten perusteella voidaan havaita päätelaitteen kytkeytyminen verkkoon sekä puhelunmuodostukset hyvin tarkkaan loogisella tasolla. Tiedonsiirto protokollien mukaan jää kuitenkin havaitsematta niin syvällisesti kuin se teoriassa on esitetty.

Avainsanat: UMTS, WCDMA, rajapinta, protokolla, WCDMA -analyysointori



## ABSTRACT

Name: Jarno Toivio

Title: Engineering 3G Laboratory Network and Interface Measurements

Date: 10 November 2007

Number of pages: 41

Department: Information Technology    Study Programme: Telecommunications

Instructor and supervisor: Seppo Lehtimäki, Senior Lecturer

The purpose of this Bachelor's thesis was to examine the structure of 3G network, the protocol structure which is used in data transmission and to observe the air interface of UMTS network. This study is based on professional literature and a WCDMA analyzer.

The focus in examining the 3G network structure was on its network elements and the protocol structures used in both the internal data transmission of these network elements also between them. The signalling traffic and connection between the user equipment and radio network controller were measured using a WCDMA analyzer. The measurements were performed when the user equipment was turned on and during soft handover as well as during the forming of three different calls.

The measurement results were highly versatile. The analyzer provided information on the measurements when the mobile phone was connected to the network, on-line events, Layer 2 and Layer 3 messages and information on the base stations. The analysis of the measurement results offered a great deal of information about signalling between the user equipment and the radio network controller.

Based on the results, it is easy to see that turning on the user equipment as well as forming the calls was very accurate on a logical level. Data transmission in terms of protocol was more difficult to observe even though theoretically possible.

Keywords: UMTS, WCDMA, Interface, Protocol, WCDMA -analyzer

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### SISÄLLYSLUETTELO

### LYHENNELUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>3G-VERKON RAKENNE JA YMPÄRISTÖ</b>	<b>2</b>
2.1	3G-verkon määrittely prosessi	2
2.2	Verkkoarkkitehtuuri	3
2.3	Verkkoelementit	5
2.3.1	<i>Perusverkkoelementit</i>	5
2.3.2	<i>Tukiasema</i>	6
2.3.3	<i>Radioverkko-ohjain</i>	6
2.3.4	<i>Yhdyskäytävä</i>	7
2.4	WCDMA 3G-verkossa	8
2.5	HSPA -laajennus	8
<b>3</b>	<b>3G-VERKON PROTOKOLLAT</b>	<b>9</b>
3.1	SS7 (Signalling System 7) -protokolla	9
3.2	ATM (Asynchronous Transfer Mode) -protokolla	10
3.3	Rajapintojen protokollarakenteet	11
3.3.1	<i>Iu -rajapinta, UTRAN-CN</i>	13
3.3.2	<i>UTRAN sisäinen rajapinta Iur</i>	15
3.3.3	<i>UTRAN sisäinen rajapinta Iub</i>	16
3.4	Verkon toteutukset	17
<b>4</b>	<b>RAKENTAMISESSA TARVITTAVA LAITTEISTO</b>	<b>19</b>
4.1	NetHawk -simulaattori	20
4.1.1	<i>NetHawk –simulaattorin toiminnot</i>	20
4.1.2	<i>NetHawk -simulaattorin asennus</i>	21
4.2	WCDMA-analysaattori	23
4.3	Tukiasemat	24

<b>5</b>	<b>RAJAPINTAMITTAUKSET JA MITTAUSTEN ANALYSOINTI</b>	<b>26</b>
5.1	Päätelaitteen verkkoon kirjautuminen	28
5.2	Päätelaitteesta soitettu puhelu, ei yhdistetty	31
5.3	Päätelaitteesta soitettu puhelu, yhdistetty	33
5.4	Päätelaitteeseen soitettu puhelu, yhdistetty	35
5.5	Päätelaitteen tekemä yhteysvastuun vaihto puhelun aikana	38
<b>6</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>41</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>42</b>

## LYHENNELUETTELO

2G	Second Generation. Toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä.
3G	Third Generation. Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä.
3GPP	Third Generation Partnership Project. 3G:n teknisen spesifioinnin määrittämistä varten perustettu työryhmä.
AICH	Acquisition Indicator Channel. Johdanto-osan kuittauskanava.
ATM	Asynchronous Transfer Mode. Asynkronine tiedonsiirtotapa.
AuC	Authentication Center. Tunnistuskeskus.
BCH	Broadcast Channel. Yleislähetyskanava.
BER	Bit Error Rate. Bittivirhesuhde.
BMC	Broadcast/Multicast Control. Radiolähetteen/monilähetteen ohjaus.
BS	Base Station. 3G-tukiasema
BTS	Base Tranceiver Station. GSM-tukiasema.
BSS	Base Station Subsystem. GSM-radiojärjestelmä.
CC	Call Control. Puhelun ohjaus.
CDMA	Code Division Multiple Access. Koodijakoinen monipääsy.
CN	Core Network. Runkoverkko.
CPICH	Common Pilot Channel. Pilottikanava.
CPCH	Common Packet Channel. Pakeetikytkentäisen tiedon yleislähetyskanava.
CS	Circuit Switched. Piirikytkentäinen.
CSICH	CPCH Status Indicator Channel. CPCH:n tilan idikaattorikanava.
DPCH	Dedicated Physical Channel. Dedikoitu fyysinen kanava.
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel. Dedikoitu fyysinen kontrollointikanava.
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel. Dedikoitu fyysinen datakanava.
DS	Direct Sequence. Suora hajoitus.
EIR	Equipment Identity Register. Laitetunnistusrekisteri.
FACH	Forward Access Channel. Edelleen lähetyksen pääsykanava.
FDD	Frequency Division Duplex. Taajuusjakoinen dupleksi.

FDMA	Frequency Division Multiple Access. Taajuusjakoinen monipääsy.
FER	Frame Error Rate. Kehysvirhesuhde.
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network. GSM/EDGE-radioliityntäverkko.
GGSN	Gateway GPRS Support Node. GPRS -yhdyskäytäväsolmu.
GMM	GPRS Mobility Management. GPRS liikkuvuuden hallinta.
GMSC	Gateway MSC. Yhdyskäytävä-matkapuhelinkeskus.
GPRS	General Packet Radio Service. GSM –pakettidatapalvelu.
HSPA	High Speed Packet Access. Suurinopeuksinen pakettiliityntä.
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access. Suurinopeuksinen pakettiliityntä verkosta päätelaitteen suuntaan.
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access. Suurinopeuksinen pakettiliityntä päätelaitteesta verkon suuntaan.
HLR	Home Location Register. Kotirekisteri.
IP	Internet Protocol. Tiedonsiirtoprotokolla.
ISP	Internet Service Provider. Mahdollistaa päätelaitteen liittymän internettiin.
MAC	Medium Access Control. Tiedonsiirtomedian kontrollointi.
MAP	Mobile Access Part. Matkapuhelin sovellusosa.
ME	Mobile Equipment. 3G-matkapuhelin.
MGW	Megia GateWay. Yhdyskäytävä.
MM	Mobility Management. Liikkuvuuden hallinta.
MSC	Mobile Switching Center. Matkapuhelinkeskus.
NBAP	Node B Application Part. Tukiaseman sovellusosa.
NSS	Network SubSystem. GSM-keskusjärjestelmä.
PCH	Paging Channel. Kutsukanava.
PICH	Paging Indicator Channel. Kutsun indikaattorikanava.
PRACH	Paging Random Access Channel. Fyysinen hajasaantikanava.
PS	Packet Switched. Pakettikytkentäinen.
QoS	Quality of Service. Palvelun laatu.

RACH	Random Access Channel. Hajasaantikanava.
RLC	Radio Link Control. Radiotien ohjausprotokolla.
RNC	Radio Network Controller. Radioverkko-ohjain.
RNS	Radio Network Subsystem. Radioverkko alijärjestelmä
RRC	Radio Resource Control. Radioresurssien ohjaus.
RRM	Radio Resource Management. Radioresurssien hallinta.
RSCP	Received Signal Code Power. Vastaanotetun signaalin kooditeho.
RSSI	Received Signal Strength Indication. Vastaanotetun signaalin teho.
SC	Scrambling Code. Sekoitus koodi.
SCH	Synchronisation Channel. Sykronointikanava.
SGSN	Serving GPRS Support Node. GPRS-operointisolmu.
SIR	Signal Interference Ratio. Signaalihäiriösuhde.
SS7	Signalling System 7. Merkinantojärjestelmä numero seitsemän.
TD	Time Division. Aikajakoinen.
TDD	Time Division Duplex. Aikajakoinen duplexi.
TDMA	Time Division Multiple Access. Aikajakoinen monipääsy.
TPC	Transmit Power Control. Lähetystehon ohjaus.
UE	User Equipment. UMTS-päätelaite.
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System. Kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmä.
USIM	User Service Identity Module. 3G-verkossa toimiva SIM-kortti.
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access. 3G-radioliityntä.
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network. 3G-radioliityntäverkko.
VLR	Visitor Location Center. Vierailijarekisteri.
VoIP	Voice over IP. Internet puhelutekniikka.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access. Laajakaistainen koodijakoinen monipääsytekniikka.



## 1 JOHDANTO

Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko UMTS on monilta osin hyvin paljon kehittyneempi verkko kuin edeltäjänsä toisen sukupolven matkapuhelinverkko GSM. On hyvin todennäköistä, että tämä uusi tekniikka tulee syrjäyttämään GSM -verkon jo lähitulevaisuudessa.

UMTS -verkko toi ilmestyessään markkinoille verkon, joka poikkeaa edellisestä verkosta huomattavasti suuremmalla tiedonsiirtokyvyllään, monipuolisemmilla palveluillaan sekä häiriönsietokyvyllään. Hankaluuden verkon rakentamiseen ja suunnitteluun on luonut tarve toimia yhdessä vanhemman GSM -verkon kanssa sekä tulevaisuudessa tulevat päivitykset verkon rakenteeseen. Verkon rakennetta on pystyttävä muuttamaan niin, että verkon rakenteessa jo toimivat palvelut toimitetaan jatkossakin vaikka uusia verkkoelementtejä tai muutoksia niihin lisättäisiin.

UMTS -verkko toimii eri tavalla kuin GSM-verkko. UMTS -verkossa ei erotella yhteyksiä matkapuhelinten ja tukiasemien välillä taajuuksilla tai aikaväleillä. UMTS -verkossa kaikki liikennöinti välitetään samalla viiden megahertsin levyisellä taajuuskaistalla ja käyttäjät ja tukiasemat erotellaan toisistaan erilaisten koodien avulla. Leveä taajuuskaista mahdollistaa pienten lähetystehojen käytön.

Työssä tutkitaan 3G-verkon rakennetta, tiedonsiirrossa käytettäviä protokollarakenteita ja tarkastellaan UMTS -verkon ilmarajapintaa kirjallisuutta sekä WCDM -analysointia apuna käyttäen. 3G- verkon rakenteesta selviää käytettävät verkkoelementit ja niiden toiminta, jonka lisäksi 3GPP:n toteutukset R99:stä tulevaisuuteen. Protokollia ja protokollarakenteita tutkitaan kirjallisuuden pohjalta. Mittauksissa selvitetään päätelaitteen ja UTRA -verkon välistä liikennöintiä verkkoon kirjautumisen osalta, puheluiden muodostuksen osalta sekä puhelun aikaisen yhteysvastuun vaihdon osalta.

## 2 3G-VERKON RAKENNE JA YMPÄRISTÖ

Monien vuosien kehittelyn jälkeen kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko on tullut kaikkien saataville. Ensimmäisen vaiheen verkko on otettu käyttöön Suomessa Soneran toimesta vuonna 2004, mutta päätelaitteita on saanut jo vuodesta 2003. Verkon suunnittelu aloitettiin jo 1990-luvulla ja seuraavien asteiden toteutukset ovat myös olleet suunnitteilla alusta alkaen.

### 2.1 3G-verkon määrittely prosessi

Maailmanlaajuisen matkaviestinjärjestelmän määrittelyssä kaikki kehittäjämaat halusivat saada nimensä näkyviin. Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkon kohdalla se on huomattu hyvin juuri nimettäessä järjestelmää. Yleisin nimitys verkolle on "Third Generation" eli 3G. Järjestelmää on kehitetty maailmalla hyvin monessa maassa, joten verkolla on myös monta nimeä. Euroopassa verkosta on tullut UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), nimen on antanut Euroopan tietoliikenneinstituutti ETSI (European Telecommunication Institute). Japanissa ja Yhdysvalloissa järjestelmä kantaa nimeä IMT-2000 (International Mobile Telephony 2000), joka on tullut kansainvälisen tietoliikenne yhtiön ITU:n (International Telecommunication Union) kehittämästä projektista. Yhdysvalloissa 3G-matkapuhelinjärjestelmistä käytetään myös nimitystä CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000), joka edustaa kehitystä IS-95 (Interim Standard 1995) -järjestelmästä. Maailmanlaajuinen kolmannen sukupolven kumppanuushanke eli virallisemmin 3GPP (3G Partnership Project) on lanseerannut 3G verkolle virallisen nimen 3GPP System. Nimi mukautuu käytössä olevan toteutuksen numeron mukaan, joten tällä logiikalla ensimmäisen 3G-verkon nimi on 3GPP System Release 99.

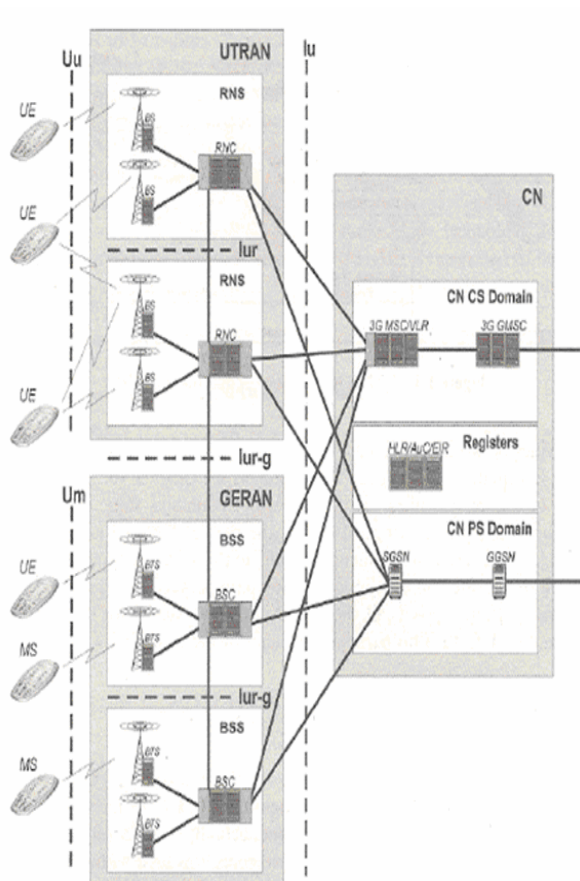
Ensimmäisen vaiheen 3G-verkko rakentuu hyvin pitkälti 2G-verkon pohjalle ja sen täytyy olla yhteensopiva 2G-verkon kanssa. Tämä asettaa paineita verkon kehittelyyn ja standardointiin. 3GPP:n seuraava toteutus olisi luonnollisesti 3GPP R00, mutta sitä ei koskaan käytetty, koska järjestelmään ehdotettiin muutoksia. Spesifikaatiotyöt ajoitettiin kahteen toteutukseen, jotka ovat 3GPP R4 ja 3GPP R5. 3GPP R4:n muutokset kohdistuvat ydinverkon

pakettikytkentäiseen osaan ja liittyvät käyttäjien tietovirtojen ja ohjaustekniikan erottamiseen. 3GPP R5:n tavoitteena on esitellä 3G-verkko, joka on valmis multimediaan. Sen on tarkoitus toimia pääosin IP -pohjaisesti. Tiedonsiirto tapahtuu pakettikytkentäisenä, mutta sen täytyy tukea myös piirikytkentäisiä palveluita. 3GPP R5 on käytössä tällä hetkellä toimivissa verkoissa ja suunnitteilla on lähes täysin IP -pohjainen verkko 3GPP R6.

## 2.2 Verkkoarkkitehtuuri

3G-verkon pääidea on valmistautua yleismaailmallisen infrastruktuurin mahdollistamien olemassa olevien ja tulevien 3G-palveluiden toimimiseen. Päälaitteiden suureen tiedonsiirtokykyyn, joka mahdollistaa liikkuvan kuvan ja äänen siirtämisen verkon yli. Infrastruktuuri täytyy suunnitella niin, että teknologian muutokset ja kehitys voidaan liittää verkkoon ilman verkon rakenteen muuttamista. Erottamalla liityntäteknikka, tiedonsiirtotekniikka, palveluteknikka ja käyttäjän laitteisto toisistaan voidaan hallita verkon asettamia vaatimuksia. Näin ollen 3G-verkkoa voidaan parantaa monella tapaa, lopettamatta palveluita, jotka käyttävät olemassa olevaa verkkorakennetta.

Rakenteellinen verkkoarkkitehtuuri on esitetty kuvassa yksi. 3G-järjestelmässä päätelaite UE (User Equipment) koostuu kahdesta osasta, jotka ovat matkaviestin ME (Mobile Equipment) ja USIM (UMTS Service Identity Module) –kortti.



Kuva 1. UMTS-verkon arkkitehtuuri [1, s. 10]

GERAN (GPRS/EDGE Radio Access Network) toimii 2G-verkon ohjauksessa ja on jaettu kahteen tukiasema-alijärjestelmään, jotka sisältävät tukiaseman BTS (Base Transceiver Station) sekä tukiasemaohjaimen BSC (Base Station Controller).

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) toimii 3G-verkon ohjauksessa ja on jaettu kahteen alijärjestelmään. Ne sisältävät tukiaseman BS (Base Station) sekä radioverkko-ohjaimen RNC (Radio Network Controller)

Runkoverkko CN (Core Network) on yhteydessä näihin edellä esiteltyihin verkon osiin sekä puhelinverkkoon PSTN (Public Switched Telephone Network) ja internetiin ISP (Internet Service Provider). Runkoverkko sisältää MSC/VLR:n (Mobile Switching Center/Visitor Location Register), HLR/AuC/EIR:n (Home Location Register/Authentication Centre/Equipment Identity Register), SGSN:n (Serving GPRS Support Node) sekä GGSN:n (Gateway GPRS Support Node).

## 2.3 Verkkoelementit

2G- ja 3G-verkoissa käytetään monia samoja verkkoelementtejä, mutta mukaan on tullut myös useita uusia verkkoelementtejä. Jotta 3G:n mahdollistamat palvelut saataisiin toimintaan, täytyy verkon tukea myös piirikytkentäistä tiedonsiirtoa. Tämän takia verkkoon on liitetty uusia osia.

### 2.3.1 Perusverkkoelementit

Verkkoelementit, jotka ovat käytössä jo 2G-verkossa, toimivat 3G-verkon perustana. Kotirekisteri HLR (Home Location Register) on tietokanta, joka sijaitsee käyttäjän kotijärjestelmässä. Se sisältää tallenteen käyttäjän tiedoista, joiden avulla tiedetään palvelut, joita käyttäjä voi käyttää. Esimerkiksi puhelunohjaus toimii näiden tietojen avulla.

Kotirekisterin yhteydessä toimii myös tilaajatunnistusrekisteri AuC (Authentication Center) sekä laitetunnistusrekisteri EIR (Equipment Identity Register).

Puhelun kytkentäkeskus MSC/VLR on puhelinkeskus (MSC) sekä vierailijarekisteri (VLR). MSC:tä käytetään piirikytkentäisiin palveluihin ja VLR sisältää tiedot radioverkossa vierailevan käyttäjän tiedoista. MSC/VLR:n tehtävänä on kytkeä puhelut RNC:n ja GMSC:n (Gateway MSC) välillä. Se on yhteydessä myös kotirekisteriin.

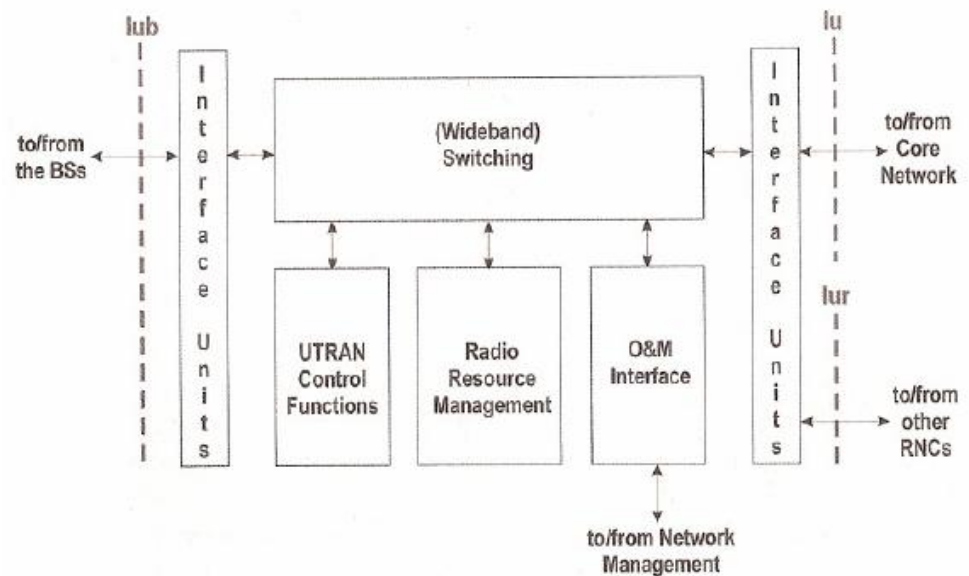
Yhdystie MSC GMSC kytkee piirikytkentäiset yhteydet UMTS PLMN- verkkoon. Kaikki tulevat ja lähtevät piirikytkentäiset yhteydet kulkevat GMSC:n kautta. Palveleva GPRS tukisolmu SGSN toimii samalla tavalla kuin MSC, mutta se toimii pakettikytkentäisissä palveluissa. Yhdyskäytävä GPRS tukisolmu GGSN toimii samalla tavalla kuin GMSC, mutta se toimii pakettikytkentäisissä palveluissa.

### 2.3.2 Tukiasema

Tukiasemasta käytetään 3G-verkossa nimitystä Node B, joka tulee 3GPP:n spesifikaatiosta. Yleisemmin käytetään nimeä BS. Tukiaseman tehtävänä verkossa on välittää tietoa tietoliikennepäätelaitteen ja tukiasemaohjaimen välillä. Tarkemmin Uu -rajapinnan sekä Iub -rajapinnan välillä. Tukiasema sisältää lähetin/vastaanottimen, jonka avulla se lähettää ja vastaanottaa tietoa päätelaitteelta radioteitse.

### 2.3.3 Radioverkko-ohjain

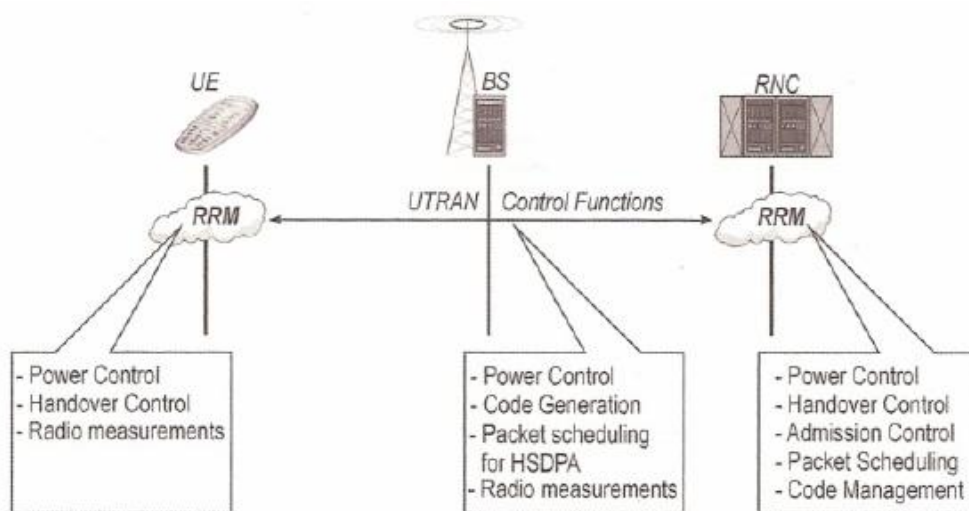
Radioverkko-ohjain sijaitsee Iub- ja Iu -rajapinnan välissä. Sen päätehtävänä on välittää tietoa tukiaseman sekä runkoverkon välillä ja se mahdollistaa radioresurssien ohjauksen UTRAN -verkossa. Se on yhteydessä myös muihin radioverkko-ohjaimiin Iur -rajapinnan kautta. RNC:n looginen arkkitehtuuri (kuva 2) havainnollistaa hyvin verkkoelementin sisältöä. Radioverkko-ohjaimella on kolme toiminnallisesti erilaista roolia 3G-verkossa.



Kuva 2. RNC:n looginen arkkitehtuuri [1, s 111]

Ohjaava RNC (Controlling RNC) on vastuussa latauksen ja eston ohjauksesta sekä verkon sisäänpääsyn ohjauksesta. Lisäksi se ohjaa koodin allokointia.

Palveleva RNC (Serving RNC) päättää käyttäjätiedon siirrosta ja vastaa RANAP (RAN Application Part) -signaaloinnista runkoverkon suuntaan. Se päättää myös radioresurssien ohjauksen signaaloinnista (RRC). Radioresurssien hallinta (RRM) kuuluu myös SRNC:lle (kuva 3). RRM käsittää siirtokanavien parametrit, tukiaseman vaihdon ja ulomman silmukan tehonsäädön.



Kuva 3. Radioresurssien hallinta[1, s.112]

Liukuma RNC (Drift RNC) ohjaa päätelaitteen käyttämiä soluja ja seuraa milloin päätelaite siirtyy solusta toiseen.

#### 2.3.4 Yhdyskäytävä

MGW (Media GateWay) siirtää tietoa RNC:n ja MSC/VLR:n välillä. Sen päätehtävänä on sovittaa tieto verkkoelementtien ymmärtämään muotoon ja välittää sitä eteenpäin. RNC toimii pakettimuotoisen tiedon kanssa, kun taas MSC/VLR käsittelee tiedon piirikytkentäisenä. MGW on tullut verkkorakenteeseen mukaan 3GPP R4:n yhteydessä.

## 2.4 WCDMA 3G-verkossa

Laajakaistainen koodijakoinen moniliittymä WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on 3G-verkoissa käytettävä radiorajapinta (Uu-rajapinta). Tämä tekniikka mahdollistaa suuremmat tiedonsiirtonopeudet, joustavan tiedonsiirtokapasiteetin sekä paremman taajuuksien käytön.

Tekniikan päätehtävänä on määritellä päätelaitteiden kommunikointi tukiasemien kanssa sekä niiden signaalien modulointi. WCDMA jakautuu aikajakoiseen TDD (Time Division Duplex) sekä taajuusjakoiseen FDD (Frequency Division Duplex) -tekniikkaan.

Aikajakoinen tekniikka TDD perustuu siihen, että samaa taajuuskaistaa käytetään kahteen suuntaan. Siinä siirrettävät datapaketit on jaettu jaksoihin, jolloin niitä voidaan lähettää vuorotellen molempiin suuntiin. Aikajakoiselle tekniikalle on varattu 25 MHz:n kaista taajuusalueilta 1900-1920 MHz sekä 2020-2025 MHz.

Taajuusjakoisessa tekniikassa FDD on annettu oma 5 MHz:n kaista myötäsuuntaiselle sekä paluusuuntaiselle tiedonsiirrolle. Myötäsuuntaiselle tiedonsiirrolle on varattu taajuudet 2110-2170 MHz ja paluusuuntaiselle taajuudet 1920-1980 MHz.

## 2.5 HSPA -laajennus

Suurinopeuksinen pakettiliityntä HSPA (High-Speed Packet Access) on matkapuhelinprotokollien kokoelma, jonka avulla saadaan olemassa olevien 3G-protokollien nopeuksia kasvatettua. HSPA jakautuu moneen standardiin, joista ensimmäisenä markkinoille tullut standardi on HSDPA. Se mahdollistaa tiedonsiirron tukiasemalta päätelaitteen suuntaan jopa 14,4 Mbit/s nopeudella. Suomessa operaattorit tarjoavat korkeintaan 3,6 Mbit/s nopeuksia tällä hetkellä, mutta tuleva tekniikka mahdollistaa suuremmatkin nopeudet. Nämäkin tiedonsiirtonopeudet ovat teoreettisia ja toimivat ainoastaan kun tukiasemassa on kiinni yksi päätelaite, joten käytännössä jäädyään latausnopeuksissa huomattavasti alemmalle tasolle.



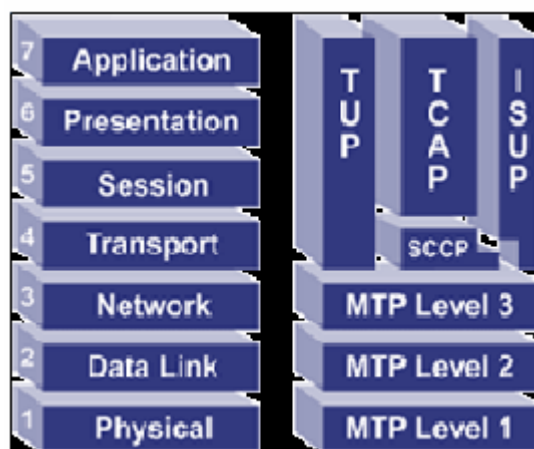
Seuraava kehitysversio on HSUPA, joka mahdollistaa tiedonsiirron päätelaitteelta tukiaseman suuntaan jopa 5,76 Mbit/s nopeudella. Tämä tekniikka vaatii päätelaitteelta huomattavia tehoja, joten laite vaatimukset on korkealla.

### 3 3G-VERKON PROTOKOLLAT

Kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko on todella laaja ja monimutkainen verkko. Tämän takia on hyvä, että toiminnallisuuden yhtenäistämiseksi on määritetty standardeja sekä protokollia. Verkon rakenne tulee muuttumaan teknologian kehityksen edetessä, jonka takia verkon rakenteen tulee olla mukautuvainen erilaisiin muutoksiin. Tämä on mahdollista jakamalla protokollarakenteita eri kerroksiin ja kokonaisuuksiin.

#### 3.1 SS7 (Signalling System 7) -protokolla

Merkinantojärjestelmä 7 on puhelinverkon kontrollointiprotokolla, jonka avulla saadaan yleiskäyttöinen rakenne matkapuhelinverkon signalointiin, viestintään, rajapintoihin sekä verkon hallintaan. SS7:n tärkein tehtävä on toimittaa puhelut PSTN verkon yli eli yhdistää keskukselta keskukselle. SS7 rakentuu OSI -mallin mukaan seitsemästä eri tasosta (kuva 4).



Kuva 4. SS7-rakennekuva [5]

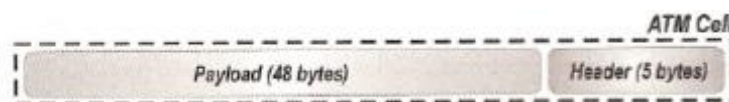
Ensimmäiset kolme kerrosta ovat merkinantoon MTP (Message Transfer Part), kerrokset liittyvät piirikytkentäiseen tiedonsiirtoon. MTP on tiedonsiirtoprotokolla, joka käsittää verkon rajapinnat, tiedonsiirron, viestin hallinnan sekä reitityksen korkeammille tasoille. Ylempien kerrosten toimintaa on verrattu OSI -mallin seitsemänkerroksiseen malliin.

Neljäs kerros on siirtokerros, jolla toimii SCCP. Se on siirtokerroksen protokolla, joka hoitaa reitityksen, vuonohjauksen, segmentoinnin, yhteyksien suunnan sekä virheentarkistuksen. Viides kerros on istunterkerros Session-layer, joka vastaa palvelupyynnöistä. SS7-protokollassa viides kerros tarkoittaa käytännössä kerrosta, joka on jaettu käyttäjäosaan (xUP) ja sovelusosaan (xAP) eli OSI -mallin mukaan seitsemättä kerrosta. Se ottaa pyynnöt vastaan esittelykerrokselta Presentation-layer ja siirtää ne alemmalle kerrokselle. Kuudes kerros toimii samoin kuin viideskin eli se siirtää palvelupyynnöitä kerrosten välillä. Seitsemäs kerros on sovelluskerros Application-layer, joka siirtää käyttäjäosan sekä sovellusosan tietoa.

### 3.2 ATM (Asynchronous Transfer Mode) -protokolla

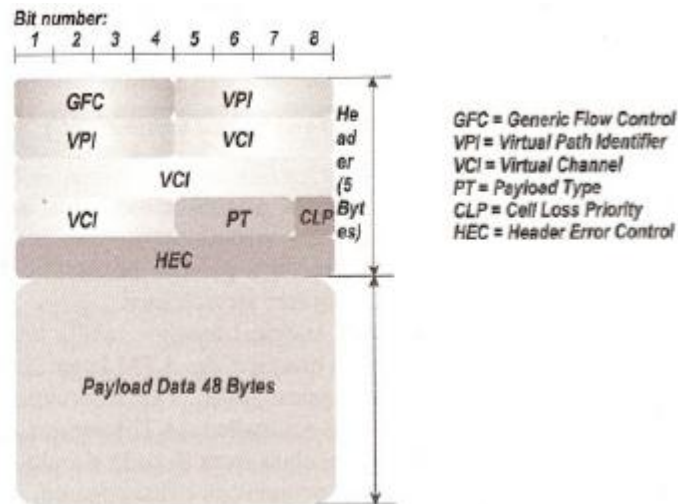
Asynkroninen tiedonsiirtotapa ATM on verkkoprotokolla, joka mahdollistaa äänen, kuvan ja datan lähettämisen samaa tekniikkaa käyttäen. ATM jakaa lähetettävän tiedon 53-tavun paketteihin, liittää niihin osoitteen ja lähettää paketit fyysisen tiedonsiirtoväylän ylitse. Vastaanottopäässä se kerää paketit ja muuttaa ne alkuperäiseen muotoonsa. Pakettisisältöistä siirrettyä tietoa kutsutaan ATM-soluksi.

ATM-solu (kuva 5) koostuu kahdesta osasta, viiden tavun mittaisesta otsakkeesta ja 48 -tavun mittaisesta hyötykuormasta. Otsake sisältää osoitetiedot, ja hyötykuorma sisältää siirrettävän tiedon.



Kuva 5. ATM-solu [1, s. 303]

Tiedonsiirto on erittäin tehokasta johtuen otsakkeen pienestä koosta. ATM-solua ei ole suojattu millään tarkastussummamenetelmällä, koska siirtoverkon liikenne on korkealaatuista ja käytettävät päätteet osaavat suorittaa virheenkorjausta itseksensä tarpeen vaatiessa. ATM-solun otsaketietojen (kuva 6) tärkeimmät osat ovat VPI, VCI, PT, CLP ja HEC.



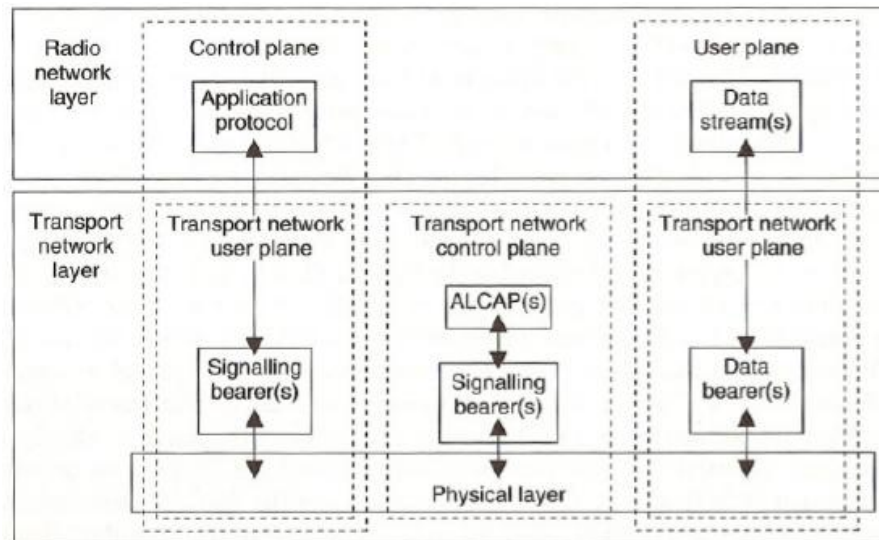
Kuva 6. ATM-solun rakenne [1, s.303]

Virtuaalinen polun tunnistaja VPI tunnistaa koko ajan varatut pysyvät yhteydet. Virtuaalinen kanavan tunnistaja VCI tunnistaa virtuaalikanavat. VCI-kenttä on melko pitkä, johtuen siitä, että yhdessä virtuaalipolussa voi olla jopa tuhansia kanavia. Hyötykuorman tyyppi PT jakaa hyötykuorman käyttäjätiedoksi tai ohjaustiedoksi sen mukaan kumpaan se on tarkoitettu. Solun menetyksen määrittelijä CLP määrittelee lippujen tärkeyttä ATM-soluissa. Jos ATM-solusta häviää tietoa siirron yhteydessä, niin järjestelmä voi menettää kyseisen solun. Alkuosan virheen ohjaus HEC paljastaa, jos alkuosassa on virheitä. ATM-solun alkuosa on virhesuojattu, koska on todennäköisempää, että virhe tulee osoitteessa kuin hyötykuormassa. Jos osoitteessa on yksi virhe, niin se voidaan vielä korjata.

### 3.3 Rajapintojen protokollarakenteet

UTRAN -verkon rajapinnat on suunniteltu saman yleisen protokollamallin mukaan (kuva 7). Tämän mallin rakenne perustuu siihen, että kerrokset ja

tasot ovat loogisesti riippumattomia toisistaan. Tarvittaessa rakennetta voidaan muuttaa tulevaisuuden tarpeiden mukaan. Protokollarakenne koostuu kahdesta pääkerroksesta, radioverkkokerroksesta ja siirtoverkkokerroksesta.



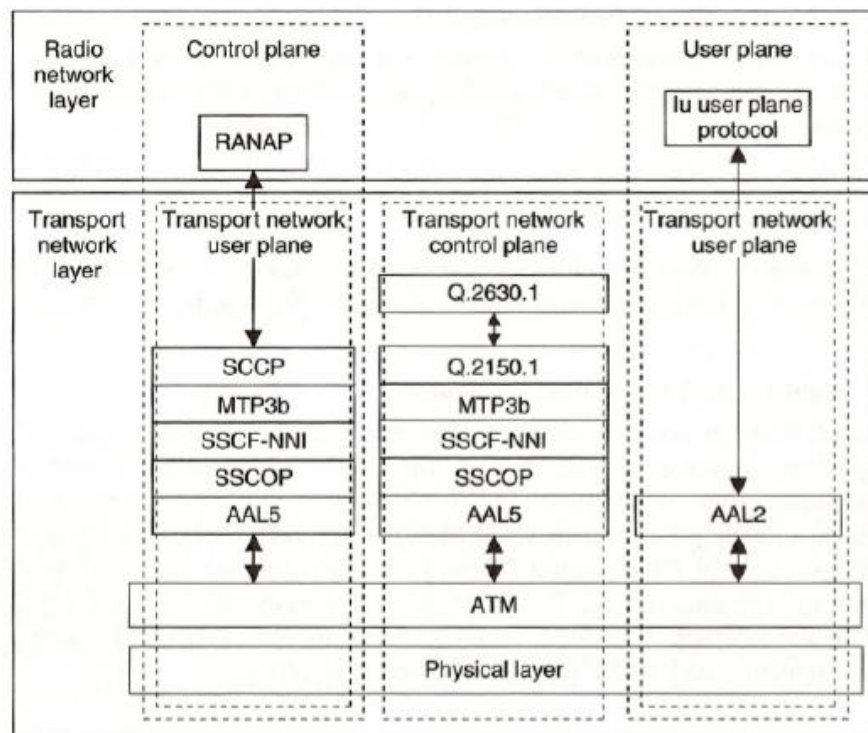
Kuva 7. Yleinen protokollamalli UTRAN rajapinnoissa [2, s. 65]

Radioverkkokerros jakautuu ohjaustasoon ja käyttäjätasoon. Ohjaustasoa käytetään UMTS -ohjaussignaalien erittelyyn. Se sisältää sovellusprotokollan sekä merkinantotarkenteen sovellusprotokollaviestien siirtoon. Käyttäjätason kautta siirretään kaikki käyttäjältä lähetetty ja vastaanotettu tieto. Esimerkiksi puhelussa käytetty puheen koodaus tai Internet-yhteydessä käytetyt paketit kulkevat käyttäjätason kautta.

Siirtoverkkokerros jakautuu periaatteessa kolmeen tasoon. Siirtoverkon käyttäjätasoon, joka on yhteydessä radioverkkokerroksen ohjaustasoon. Muut tasot ovat siirtoverkon ohjaustaso sekä siirtoverkon käyttäjätaso, joka puolestaan on yhteydessä radioverkkokerroksen käyttäjätasoon.

### 3.3.1 Iu -rajapinta, UTRAN-CN

Iu -rajapinta yhdistää UTRAN -verkon runkoverkkoon. Se on avoin rajapinta, joka jakaa järjestelmän radiotarkennettuun UTRAN:iin ja runkoverkkoon CN, jonka tehtävänä on hoitaa kytkennän, reitityksen ja palveluiden ohjaus. Iu-rajapinta koostuu kahdesta erilaisesta tahosta, jotka ovat Iu CS (kuva 8) ja Iu PS (kuva 9). Iu CS:llä kytketään UTRAN piirikytkentäiseen runkoverkkoon ja Iu PS:llä kytketään UTRAN pakettikytkentäiseen runkoverkkoon. Kolmas yhteys, jota kuvasta 8 ei nähdä on Iu BC, jota käytetään UTRAN:in yhdistämiseen runkoverkon lähetykskeskukseen.



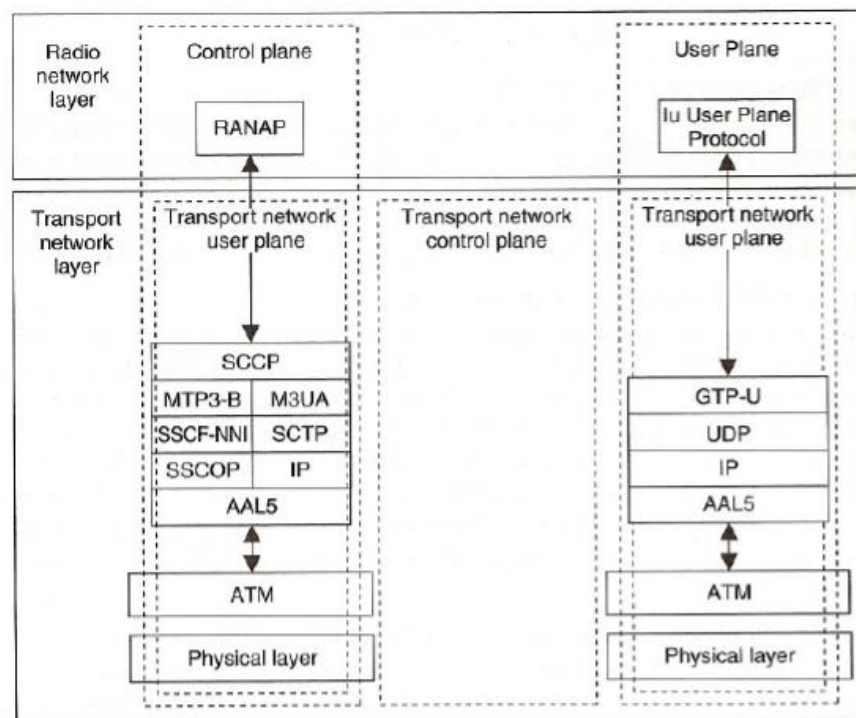
Kuva 8. Iu CS -protokollarakenne [2, s. 67]

Iu CS -protokollapino muodostuu kolmesta tasosta, jotka jakavat yhteisen ATM-tason. Tasot ovat yhteydessä myös fyysiseen tasoon, jolla tieto siirretään. Fyysisen tason siirtotekniikoina käytetään valokuitua, kuparikaapelia tai radiotietä. Iu CS -ohjaustason protokollapino koostuu RANAP:sta sekä laajakaistaisesta BB (Broad Band) SS7:stä. Tähän soveltuvia kerroksia ovat SCCP, MTP3-b sekä SAAL-NNI. SAAL-NNI on jaettu edistyneempiin ker-

roksiin, joita ovat SSCF-, SSCOP- sekä AAL5 -kerros. SCCF- ja SSCOP-kerrokset ovat suunniteltu erityisesti merkinannon siirtoon ATM -verkoissa ja ne hoitavat merkinannon yhteyden hallinnan.

Siirtoverkon ohjaustason protokollapino piirikytkentäisessä lu -rajapinnassa koostuu merkinantoprotokollasta, joka asettaa AAL2 yhteydet (Q.2630.1 ja yhdistämiskerros Q.2150.1) BB SS7 -protokollassa. BB SS7 soveltuu käytettäväksi ilman SCCP -kerrosta. Käyttäjätason protokollan tarkoituksena piirikytkentäisessä lu -rajapinnassa on siirtää käyttäjän tietoa lu- rajapinnan yli. Tässä AAL2 -yhteys palvelee jokaista yksittäistä piirikytkentäistä palvelua erikseen.

Iu PS -protokollapino toimii pitkälti samoin kuin Iu CS, mutta sen on pakettikytkentäiseen siirtoon tarkoitettu, joten siinä on lisäksi muutamia protokollia. IP -pohjaisen tiedon merkinanto koostuu M3UA (SS7 MTP3-User Adaptation Layer):sta, SCTP:stä, IP:stä sekä AAL5:stä, joka on yhteinen molemmille vaihtoehdoille. SCTP -kerros on suunniteltu erityisesti merkinantoon internetissä.

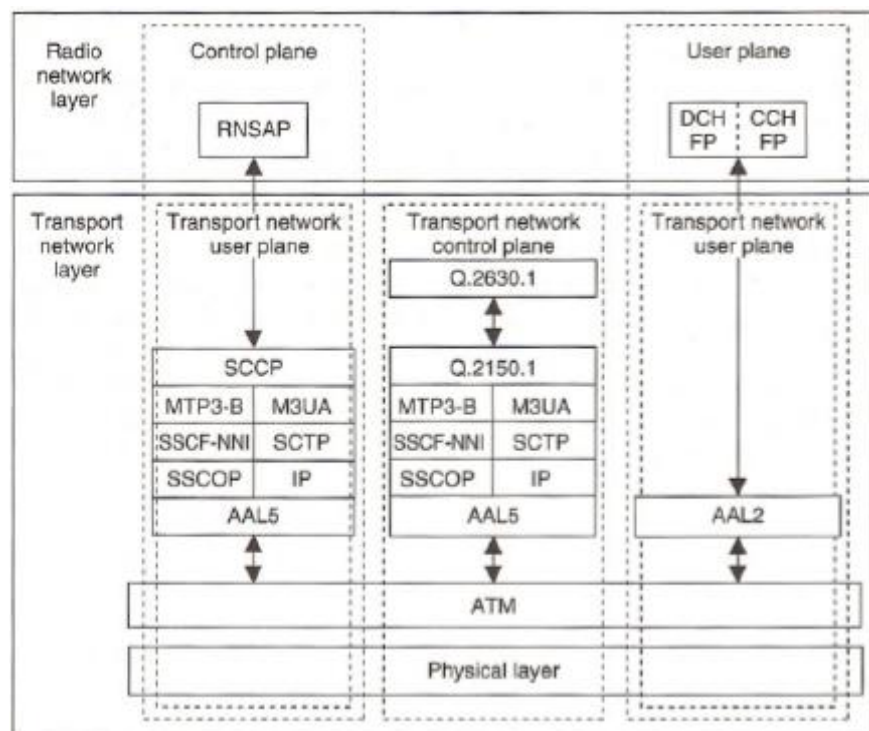


Kuva 9. Iu PS -protokollarakenne [2, s. 68]

Siirtoverkon ohjaustasoa ei ole sovellettu lu PS:ään. Toimiakseen GTP tarvitsee ainoastaan tunnistajan siirtotiehen ja IP -osoitteen molempiin suuntiin. Nämä kuitenkin jo sisältyvät käytössä olevaan RANAP RAB:iin.

### 3.3.2 UTRAN sisäinen rajapinta lur

lur -rajapinta mahdollistaa tiedonsiirron kahden radioverkko-ohjaimen välillä. Se suunniteltiin alun perin tukemaan RNC:n sisäistä soft handoveria. Soft handover tarkoittaa matkapuhelimen siirtymistä tukiaseman solusta toiseen ilman katkoksia. lur -rajapinnan merkinantoprotokolla RNSAP on jaettu neljään erilaiseen ryhmään, koska rajapinnan tulee tukea neljää tärkeää toimintoa. Rajapinnan tulee tukea liikkuvuutta, dedikoitujen ja yhteisten kanavien liikennettä sekä yleismaailmallista resurssien hallintaa. lur -rajapinnan protokollapino (kuva 10) sisältää kaksi mahdollista RNSAP -merkinannon siirtotapaa. SS7-pinon, joka sisältää SCCP:n ja MTP3:n tai SCTP/IP -pohjaisen siirron.

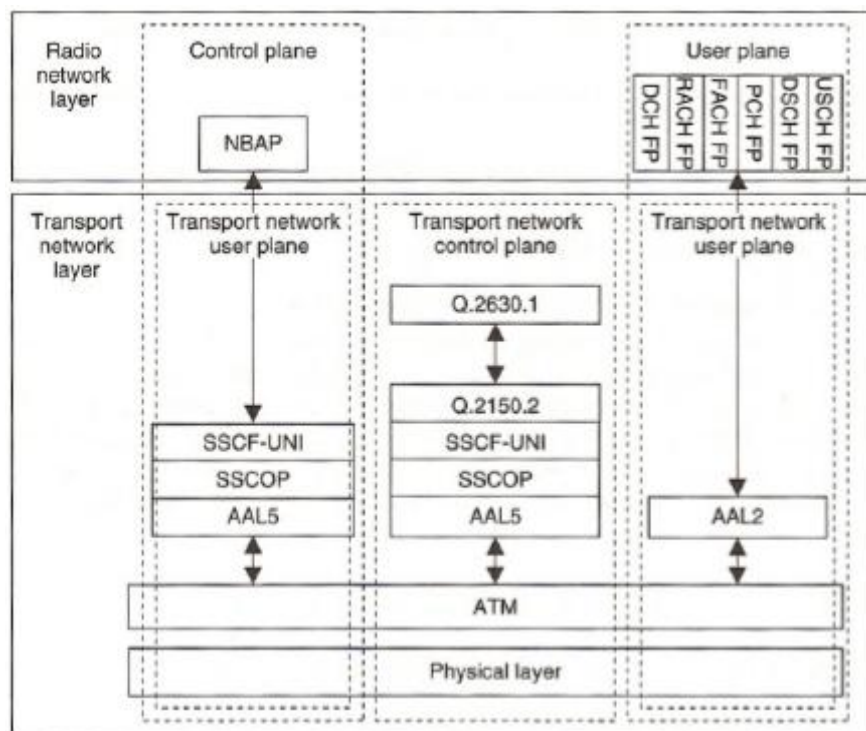


Kuva 10. lur -rajapinnan protokollarakenne[2, s. 73]

Käyttäjätason protokollia on myös kaksi: DCH (Dedicated Channel) ja CCH (Common Channel).

### 3.3.3 UTRAN sisäinen rajapinta Iub

Iub -rajapinnan tarkoituksena on välittää tietoa radioverkko-ohjaimen ja tukiaseman välillä. Rajapinnan merkinanto NBAP (Node B Application Part) on jaettu kahteen välttämättömään osaan. Yhteiseen NBAPiin, joka määrittelee merkinantomenetelmät yhteisen merkinantolinkin yli, ja dedikoituun NBAPiin, jota käytetään dedikoidussa merkinantolinkissä. Merkittävin ero Iub-rajapinnan kanssa on, että tässä protokollapinossa (kuva 11) SS7 on korvattu yksinkertaisemmalla SAAL-UNI -merkinannolla eikä SCTP/IP -pohjaista siirtoa ole.

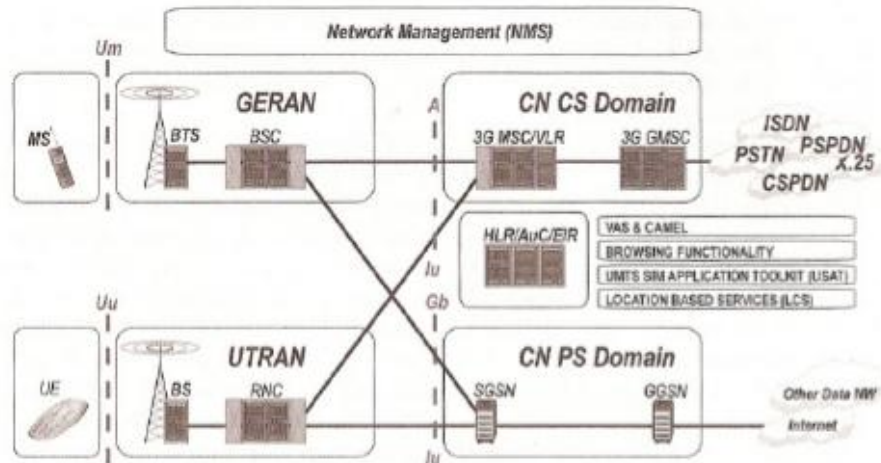


Kuva 11. Iub -rajapinnan protokollarakenne [2, s.76]



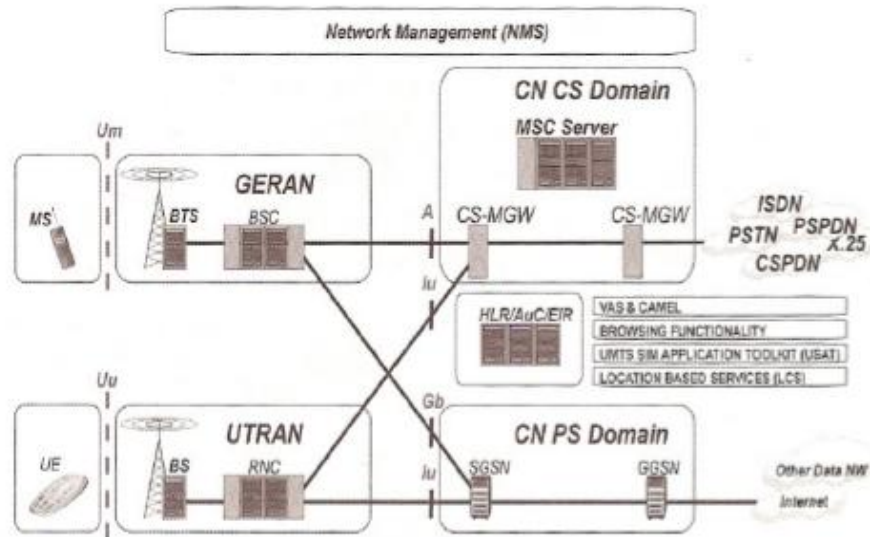
### 3.4 Verkon toteutukset

Tekniikan kehitys ja palveluiden lisääntyminen on asettanut paineita 3G-verkon suunnitteluun. Tämän takia verkon toteutukset on jaettu useaan eri kehitysvaiheeseen. Ensimmäinen toteutus on Release 99 (kuva 12), jonka vaatimuksena on olla 2G-verkon kanssa yhteensopiva sekä mahdollistaa kuvien ja äänen lähettämisen päätelaitteelta toiselle.



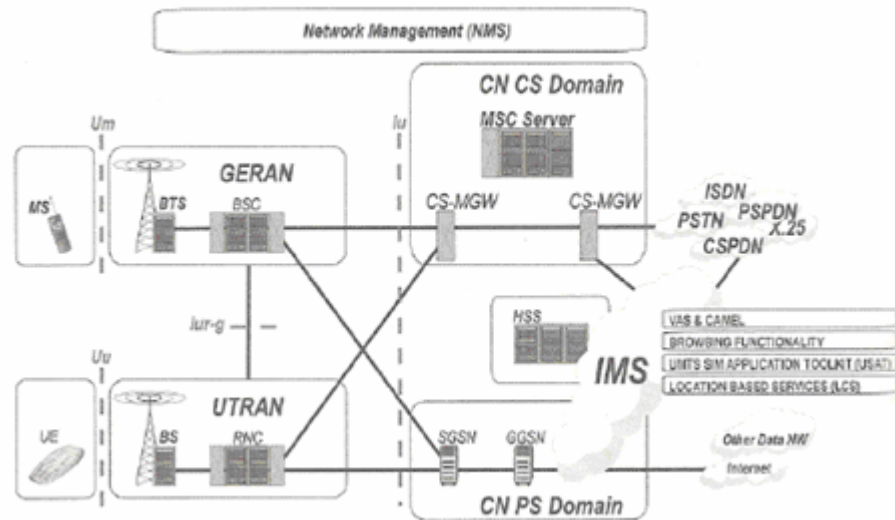
Kuva 12. 3GPP Release 99 [1, s.22]

Toisen vaiheen toteutus on 3GPP Release 4 (kuva 13). Tärkeimpiä uudistuksia on UTRA FDD –toiminnon parantelu, protokollapinojen muuttaminen niin, että tiedonsiirtoprotokolla muuttuu IP -pohjaiseksi sekä riippumaton piirikytkentäinen ydinverkko. Piirikytkentäinen puoli runkoverkosta muuttuu laitteistonsa puolesta niin, että puheluiden kytkentäkeskus muuttuu palvelimeksi ja tiedonsiirtoa muokkaamaan tulee CS-MGW. Yksi MSC -palvelin voi ohjata useata CS-MGW:itä samanaikaisesti.



Kuva 13. 3GPP Release 4 [1, s.25]

Kolmannen vaiheen toteutus on 3GPP Release 5 (kuva 14). Verkon vaatimuksina on IP -pohjainen tiedonsiirto koko verkon yli sekä esitellä uusi verkosta erillään oleva osa IMS (IP Multimedia Subsystem). Lisäksi tarkoitus on yhdistää avoin rajapinta monipääsyn ja runkoverkon välillä ja tuoda lisää kapasiteettia ilmarajapinnan paluusuuntaan. Nämä muutokset mahdollistavat hyvin nopeat yhteydet verkosta päätelaitteen suuntaan. Päätelaitteella voidaan selata internetsivustoja, soittaa videopuheluita sekä ladata tietoa verkosta jopa 14,4 Mbit/s nopeudella. Nämä nopeudet ovat mahdollisia toteutuksen mukana tulleen HSDPA -tekniikan avulla.



Kuva 14. 3GPP Release 5 [1, s.26]

Kehitteillä on jo seuraavia toteutuksia (3GPP Release 6,7,8), jotka tuovat vieläkin nopeammat yhteydet ihmisten taskuihin. Markkinoille on tulossa 3GPP Release 6, joka on lähes täysin IP -pohjainen ratkaisu. Se mahdollistaa puhelimen toiminnan langattomissa verkoissa (WLAN), IMS -laajennuksen, HSUPA:n ja muita mullistavia ja nopeita toimintoja.

#### 4 RAKENTAMISESSA TARVITTAVA LAITTEISTO

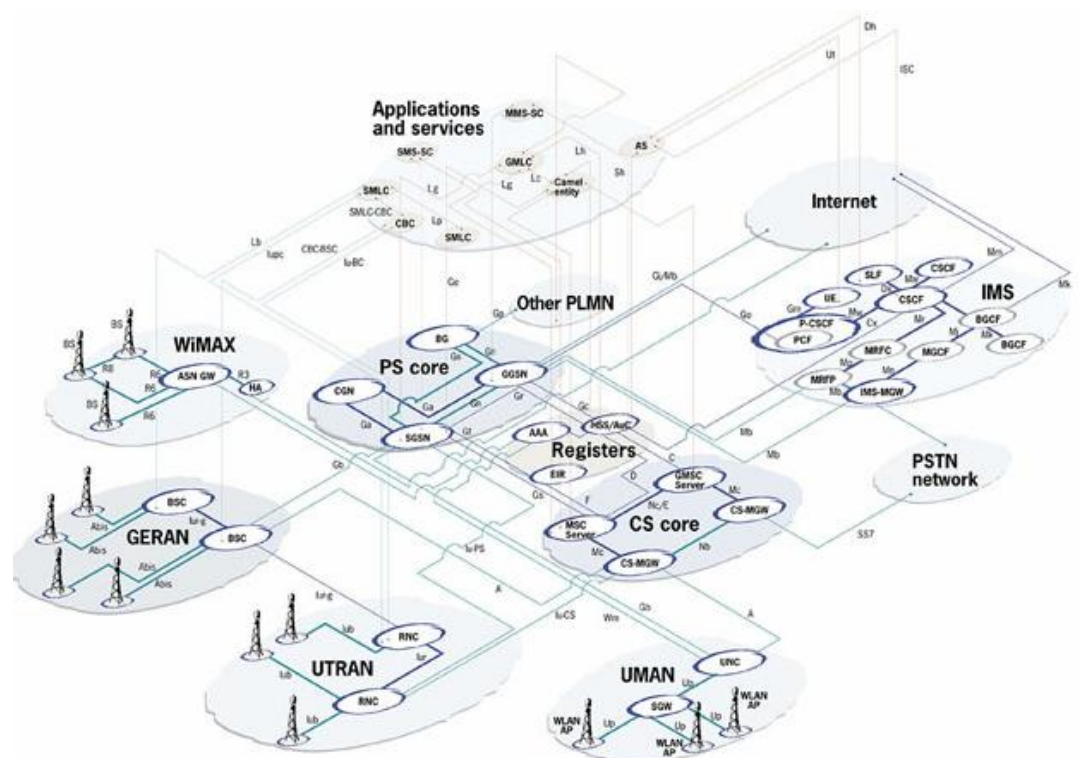
3G-laboratorioverkon rakentamiseen tarvitaan useita laitteita. Laboratorioverkko ei koostu fyysisesti kaikista verkkoelementeistä, vaan se rakennetaan testiympäristöksi. Fyysisiä laitteita ovat tukiasema, 3G-päätelaite ja NetHawk-simulaattori. NetHawk-simulaattori simuloi runkoverkkoa sekä radioverkko-ohjaimia. Ennen työn aloittamista koululta löytyi jo NetHawk-simulaattori, WCDMA-analysaattori sekä 3G-verkkoa tukeva päätelaite. Ainoa laite, joka puuttui, oli tukiasema. Tukiasemaa ei koululle saatu hankittua, joten mittauksissa käytettiin lähiseudulla sijaitsevia eri operaattoreiden tukiasemia.

## 4.1 NetHawk -simulaattori

Laitteella simuloidaan runkoverkko sekä radioverkko-ohjain. Työssä rakennetaan 3G -laboratorioverkko ja tutkitaan rajapintojen signalointia. Tähän testiympäristöön on edullisempi hankkia NetHawk -simulaattori kuin kaikki verkkoelementit erikseen. Simulaattoria käytetään yrityksissä, joissa testataan verkkojen toimintaa.

### 4.1.1 NetHawk –simulaattorin toiminnot

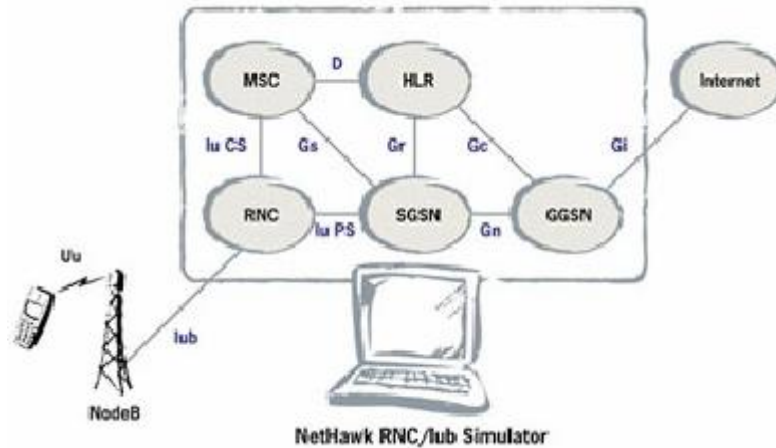
Sillä on helppo mukauttaa verkon toimintoja eri testitilanteisiin sopiviksi. NetHawkin eri versioilla voidaan simuloida todella suuri osa eri verkkoja (kuva 15).



Kuva 15. NetHawk:n koko simulointiympäristö [8]

Koska NetHawk simuloi niin suuren osan verkkoa, ei testitilanteiden muuttamiseksi tarvitse muuttaa välttämättä muuta kuin ohjelman asetuksia. Jos

testataan tukiasemia tai verkon maksimikapasiteettia päätelaitteiden avulla, niin silloin halutut muutokset tehdään testattaviin laitteisiin tai laiteympäristöihin. Tässä työssä käytetään versiota NetHawk RNC/Iub Simulator, jolla simuloidaan vain pieni osa koko simulointiympäristöstä (kuva 16).



Kuva 16. Simuloitava verkko [9]

#### 4.1.2 NetHawk -simulaattorin asennus

NetHawk:in asennus on hyvin monimutkainen, jonka vuoksi laitteen hankintaan sisältyy myös asennuspalvelu. NetHawk sisältää asennus -CD:n sekä N3-, N2- tai D3- adapterit (kuva 17). Tietokoneet eivät kuulu sisältöön.

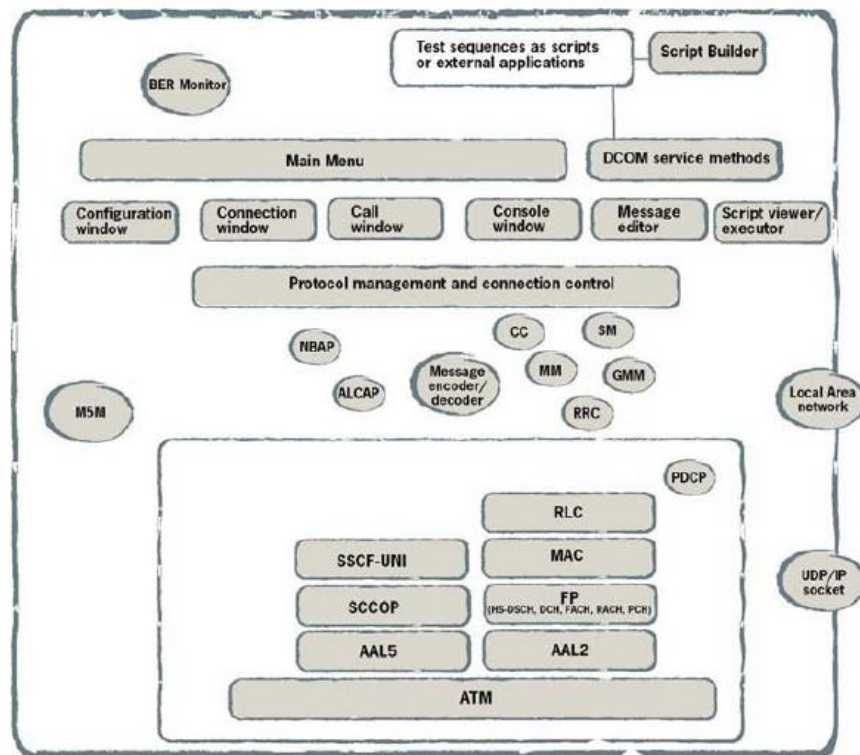


Kuva 17. NetHawk -laitteisto [10]

Asennus -CD:ltä löytyvät kattavat ohjeet laitteiston asentamiseen ja kasamiseen. Aluksi valmistellaan Nethawkin pyörittämisessä käytettävä tietokone toimintakuntoon. Tietokoneeseen ladataan ja asennetaan seuraavat paketit:

- MIE (Microsoft Internet Explorer)
- MSXML (Microsoft Extensible Markup Language)
- WinPcap
- Microsoft JScript- ja VBScript -dokumentaatio
- MSD (Microsoft Script Debugger)

Itse ohjelmisto asennetaan ennen laitteiston muiden osien asennusta. Asennus tapahtuu CD:ltä tai yrityksen verkkosivulta ohjeiden mukaisessa järjestyksessä. Ohjelmiston asennuksen jälkeen voidaan asentaa laitteisto. Adapterit asennetaan ohjeiden mukaisessa järjestyksessä. Adaptereista valitaan oikea sen mukaan mitä tiedonsiirtonemetelmää tukiasema tukee. Tässä työssä käytetään adapteria N2, joka toimii PCM:n kanssa. Rakenteellinen malli NetHawk- simulaattorista (kuva 18) auttaa käsittämään sen toimintaa.



Kuva 18. Rakenteellinen malli NetHawk RNC/lub-simulaattorista [10]

Tämän jälkeen NetHawkin asennusosio on valmis ja siihen voidaan kytkeä verkon muut osat.

## 4.2 WCDMA-analysaattori

Tätä laitetta tarvitaan Uu- eli ilmarajapinnan mittaukseen. Laitteella voidaan tutkia sekä 2G- että 3G-radiotien ominaisuuksia. Se on Ericssonin valmistama laite TEMS Investigation WCDMA 6.1.1 (kuva 19), joka on hankittu koululle vuonna 2005. Se sisältää ohjelmiston, joka asennetaan kannettavaan tietokoneeseen, johon on kytketty myös laitteen mukana tullut 3G-päätelaite.



*Kuva 19. WCDMA -analysaattori[7]*

Analysaattorilla voidaan mitata UMTS -verkosta esimerkiksi:

- 2- ja 3- tason dekodeausta
- siirtokanavan liityntää
- RRC:n tilaa
- keskimääräistä BER:iä (Block Error Rate) liikennekanavista
- RACH johdanto- osan informaatiota

- UTRA signaalin RSSI
- Downlink closed loop -tehonsäätö: SIR, target SIR
- UE:n lähettimen tehoa
- Initial lähettimen tehoa
- palvelevaa solua
- aktiivista ja valvottua joukkoa (Active and Monitored Set)
- Preamble siirron laskentaa
- kompressoitua moodia
- Rake -informaatiota
- naapurisolun rakennetta
- Signaalointia: RRC/NAS viestit
- Uplink signaalin voimakkuutta, uplink häiriötä
- levityskerrointa (Uplink/Downlink)
- signaalikohinasuhdetta
- vaimennusta
- pehmeän yhteysvastuunvaihdon (Soft Handover) seurantaa

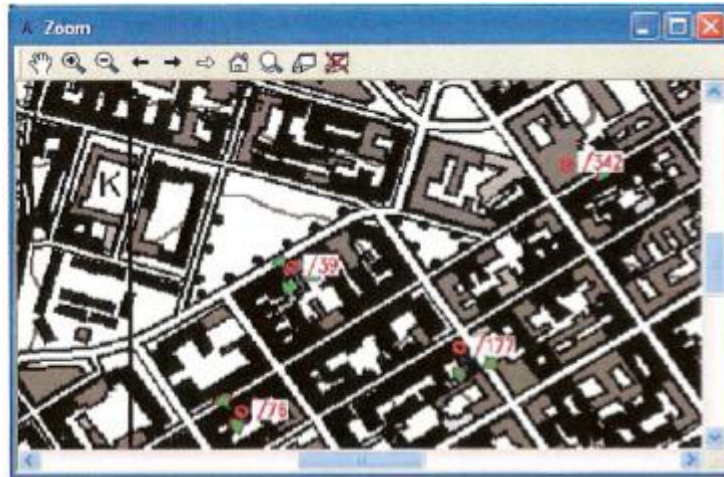
Luetelmassa on vain osa laitteen mittausominaisuuksista. Laitteen kaikki mittausominaisuudet löytyvät valmistajan verkkosivulta [7]. Tässä työssä WCDMA -analysointia käytetään ilmarajapinnan mittaukseen. Pyritään selvittämään rajapinnassa kulkeva tieto, suunta ja se, mihin tietoa tarvitaan. Toisin sanoen työssä pyritään selvittämään ja havainnollistamaan päätelaitteen ja tukiaseman välistä kommunikointia.

### 4.3 Tukiasemat

Tukiasemaa tarvitaan päätelaitteen ja radioverkko-ohjaimen väliseen liikennöintiin. Tukiasema sisältää lähetin/vastaanottimen, jonka avulla se välittää tietoa uplink/downlink –suuntaan radioteitse. Päätelaitteen ja tukiaseman välistä radiotietä kutsutaan ilmarajapinnaksi Uu ja tukiaseman ja radioverkko-ohjaimen välistä rajapintaa lub:ksi.



Työssä tarvittavaa tukiasemaa yritettiin hankkia puolen vuoden ajan, eikä sitä saatu hankittua määräaikaan mennessä. Tämän takia työn mittauksissa käytetään lähiseudulla sijaitsevia eri operaattoreiden tukiasemia (kuva 20).



Kuva 20. Lähiympäristön tukiasemat [liite 1]

UMTS –tukiasemat ja antennit sijaitsevat katutasossa tai sisäpihoilla. Tämä sijoittelu on nykysuuntauksen mukainen menettely, koska siirrytään aina pienempiin solukokoihin. Tarkempia tietoja tukiasemista (Taulukko 1).

Taulukko 1. Soneran UMTS -tukiasematiedot [liite 1]

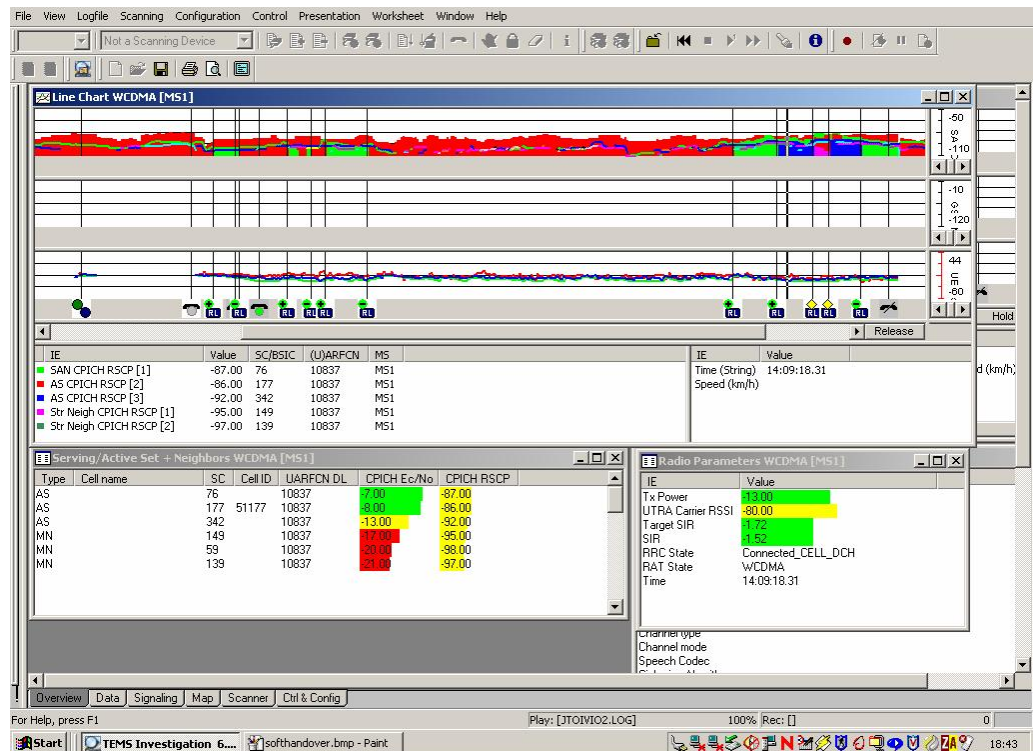
Osoite	SC	Tyyppi	Korkeus	Suunta	Pilotin tehotaso (dBm)
Ruoholahdenkatu 8	39	K742290	12	330	25
Eerikinkatu 44	76	K80010046	12	330	27
Kalevankatu 36	177	K742211	12	60	25
Eerikinkatu 11	342	K80010046	12	150	31
Ruoholahdenkatu 8		K742222	15	60	25
Eerikinkatu 44		K80010046	10	60	26
Kalevankatu 36		K80010046	6	240	25
Kadunpuoleinen					
Sisäpiha					

## 5 RAJAPINTAMITTAUKSET JA MITTAUSTEN ANALYSOINTI

Mittaukset suoritetaan Helsingin ammattikorkeakoulun Albertinkadun toimipisteen viidennessä kerroksessa. Mittauksissa käytetään kappaleessa 4.2 esiteltyä mittalaitteistoa sekä mittapisteesä kuuluvia lähiympäristön UMTS-tukiasemia. Eri operaattoreiden tukiasemia löytyy viisi kappaletta, joista kaksi kuuluu melko huonosti mittapisteeseen.

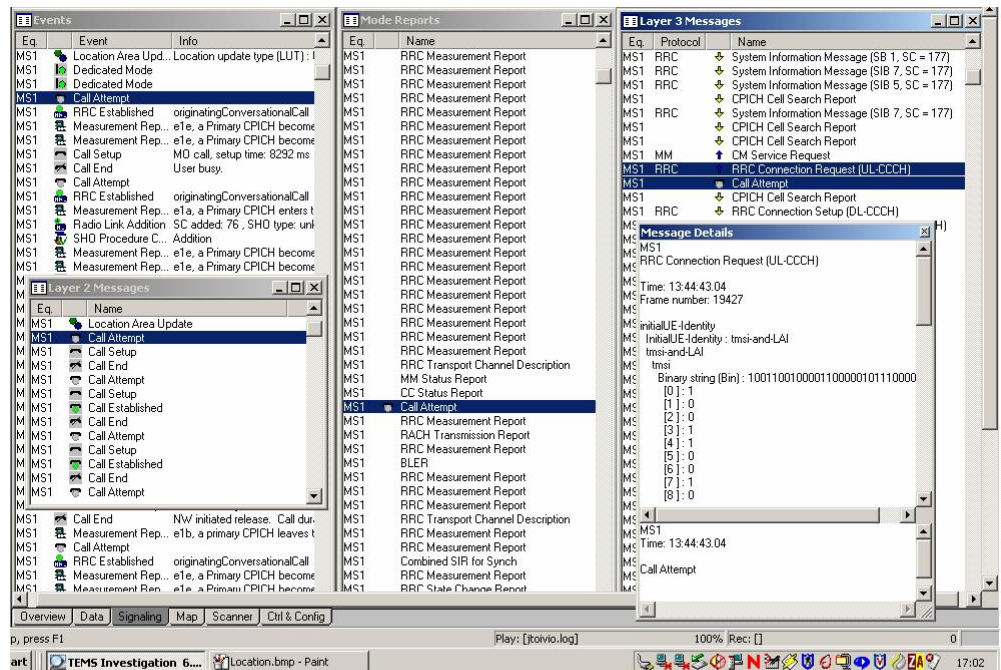
Mittauksissa tutkitaan päätelaitteen ja UTRA –verkon toimintaa signaloinnin osalta viidessä eri tilanteessa. Mittaukset kohdistuvat siis ilmarajapinnan liikennöintiin kytkettäessä päätelaitteeseen virta päälle, päätelaitteella soitettaessa puhelun yhdistymättä ja yhdistymällä sekä päätelaitteella vastattaessa. Lisäksi tutkitaan yhteysvastuun vaihtoa puhelun aikana.

Ohjelma on hyvin monipuolinen ja sillä on helppo saada liikaakin tietoa, joten mittauksia täytyy rajata muutamiin toimintoihin. Analysaattorilla voidaan tarkastella tukiasemien lähettämien CPICH –kanavien tehotasoja, signaalikohinasuhdetta, jotka näkyvät palveleva tai aktiivinen set + naapuri WCDMA (Servin/Active Set + Neighbourgs WCDMA) – ikkunassa. Ohjelmalla näkee myös päätelaitteen lähettämät tehotasot radioparametri (Radio Parameters WCDMA) –ikkunasta. Tukiasemien tehotasoja sekä päätelaitteen toimintoja voidaan tarkastella kuvan 21 ikkunasta (Line Chart WCDMA).



Kuva 21. TEMS -analysoijan Overview -ikkuna

Ilmarajapinnan liikennöinnin selvittämiseksi analysoijalla seurattiin Layer 2 ja Layer 3 tasojen liikennöintiä sekä ohjelman antamia tapahtuma tietoja (Events). Moodi raportti (Mode Report) –ikkunasta seurataan tarkemmin liikennöintiä, kuten tehonsäädöt, verkon parametrit ja muu tärkeä informaatio. Ohjelmasta selvisi hyvin yksityiskohtaisesti päätelaitteen ja UTRA –verkon välinen liikennöinti (kuva 22).

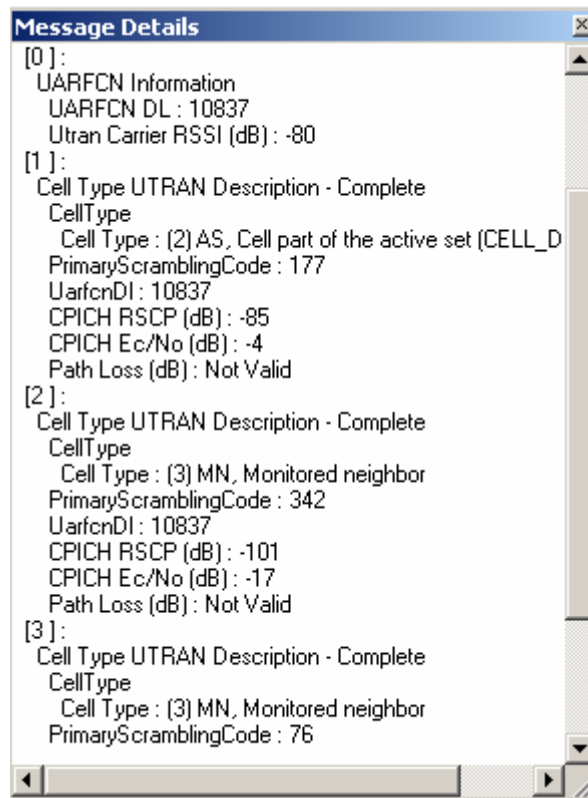


Kuva 22. TEMS -analysoijan Signalling -ikkuna

## 5.1 Päätelaitteen verkkoon kirjautuminen

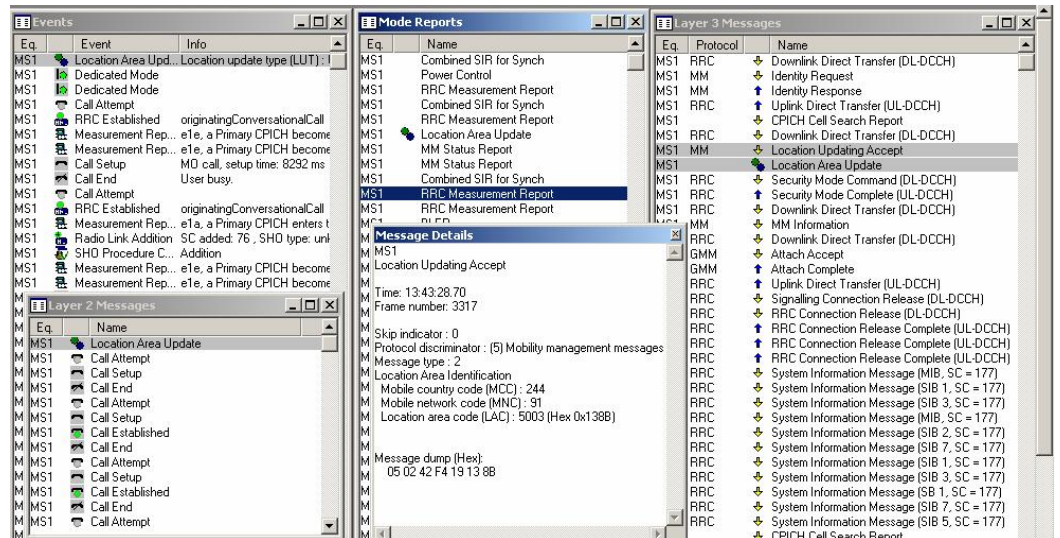
Päätelaitteen kytkeytymistä verkkoon seurataan vaihe vaiheelta analysointirivin avulla. Analysointirivi käynnistetään ja yhteys luodaan päätelaitteeseen. Analysointirivista asetetaan tiedonkeruu päälle ja käynnistetään päätelaite. Kun tarvittavat mittaukset on tehty, lopetetaan tiedonkeruu ja tallennetaan saadut tulokset niiden analysoimista varten. Kirjautumisen kulun selvittämisessä käytetään paljon lyhenteitä radioverkko-ohjaimen toiminteista. Näitä toiminteita ovat: liikkuvuuden hallinta MM (Mobility Management), radioreurssien ohjaus RRC (Radio Resource Control), GPRS liikkuvuuden hallinta GMM (GPRS Mobility Management) sekä puhelun ohjaus CC (Call Control).

MM lähettää UE:lle tunnistepyyynnön, jonka UE kuittaa viestillä, joka sisältää tiedot matkapuhelimesta sekä liittymästä. Tämän jälkeen UE lähettää radioreurssien ohjaukselle RRC mittausraportin (RRC Measurement Report), joka sisältää tietoja saatavilla olevista tukiasemista (kuva 23).



*Kuva 23. RRC Measurement Report*

Seuraavaksi RRC lähettää CPICH solun etsintä raportin (CPICH Cell Search Report), jossa ilmoitetaan päätelaitteelle parhaan tukiaseman tiedot. Paras tukiasema määräytyy verkon signaalikohinasuhteelle asettamien parametrien avulla. Tukiasema, jolla on paras signaalikohinasuhde CPICH Ec/No, valitaan. Tämän jälkeen MM lähettää päätelaitteelle paikannuspäivityksen (kuva 24), jota seuraa RRC:n lähettämä turvallisuus moodi komento, jonka UE kuittaa.



Kuva 24. Location Updating Accept

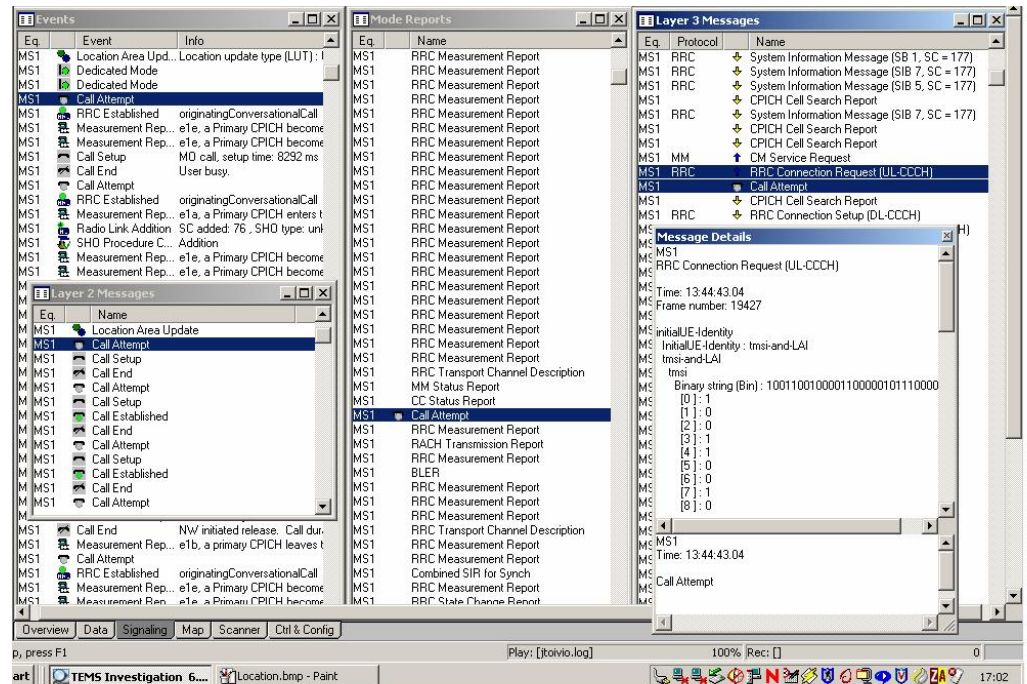
Seuraavaksi päätelaite vastaanottaa tietoja RRC:ltä sekä MM:ltä, jotka sisältävät tietoja tukiasemista. GMM lähettää UE:lle liitteiden hyväksynnän, jossa kaikki tiedot viestiliikenteestä, radiopriorisointi tasot, reititysalueen tunnistetiedot, P-TMSI allekirjoitus sekä allokoitunut P-TMSI tiedot. UE suorittaa liitteet ja vastaa GMM:lle

RRC lähettää päätelaitteelle yhteys toteutuksen (RRC Connection Release), jonka puhelin kuittaa suoritetuksi. Kirjautuminen on nyt valmis ja päätelaite on kiinni verkossa ja valmis puheluihin tai muuhun tiedonsiirtoon. Tämän jälkeen päätelaite on niin sanotussa valmiustilassa, jossa verkon ja UE:n välillä on kokoajan liikennöintiä. UE saa järjestelmätietoviestejä (System Information Message), jotka sisältävät tietoja tukiasemasta, jossa päätelaite on kiinni. Viestejä tulee jatkuvasti kunnes päätelaitteella soitetaan tai vastaanotetaan puheluita tai dataa.

UE:n ollessa yhteydessä UMTS –verkkoon, UE:n ja UTRA –verkon välillä tietoa liikkuu jatkuvasti. Tietoa liikkuu tukiaseman lähetystehosta, sykkonointiin tarkoitettu yhdistetystä SIR:istä, BLER (Block Error Rate):stä, mittaus-tuloksista sekä päätelaitteen tehonsäädöstä.

## 5.2 Päätelaitteesta soitettu puhelu, ei yhdistetty

Päätelaitte on valmiustilassa kunnes yritetään muodostaa puhelua. Päätelaitte lähettää MM:lle palvelupyynnön (CM Service Request) sekä RRC:lle yhdistämiskyselyn (RRC Connection Request). Soittoyritys (Call Attempt) alkaa tästä (kuva 25).

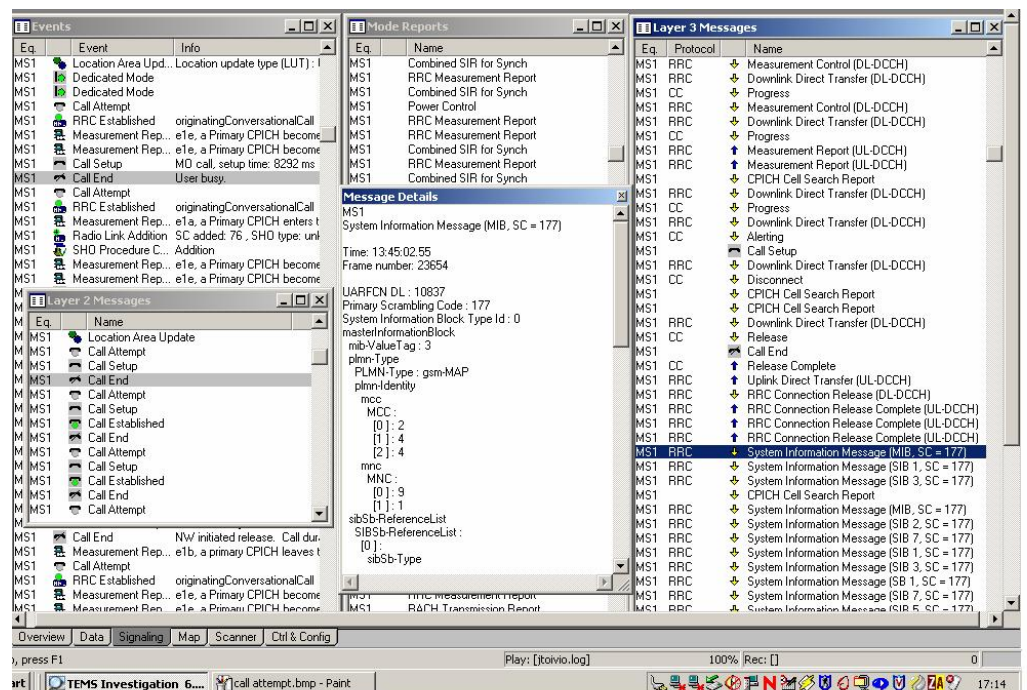


Kuva 25. TEMS -analysointi soitto yritys

Tämän jälkeen RRC lähettää päätelaitteelle CPICH solun etsintätietoraportin sekä yhteysasetukset. UE vastaa RRC:lle suorittaneensa yhteysasetukset. MM lähettää autentikointi tietoja UE:lle, jotka UE kuittaa. Sitten RRC lähettää turvallisuus moodi komennon, jonka UE kuittaa ja pyytää samalla puheluasetuksia CC:ltä. CC ilmoittaa UE:lle puhelun edistymisestä. RRC lähettää UE:lle asetuksia (Radio Bearer Setup), jotka UE suorittaa ja kuittaa siitä RRC:lle.

Puhelun muodostusvaiheessa CC lähettää UE:lle tietoja verkon mittauksen ohjauksesta (Measurement Control) joihin päätelaite vastaa raporteilla verkon mittauksesta (Measurement Report). Samoin CC lähettää ilmoitusta siitä, että puhelun muodostus on käynnissä (Progress). Tämän jälkeen CC ilmoittaa UE:lle, että puhelu hälyttää toisessa päässä.

Päätelaite johon puhelua muodostettiin, katkaisee puhelun, jonka jälkeen CC ilmoittaa UE:lle puhelun katkaisusta sekä lähettää CPICH solun etsintäraportin (kuva 26).



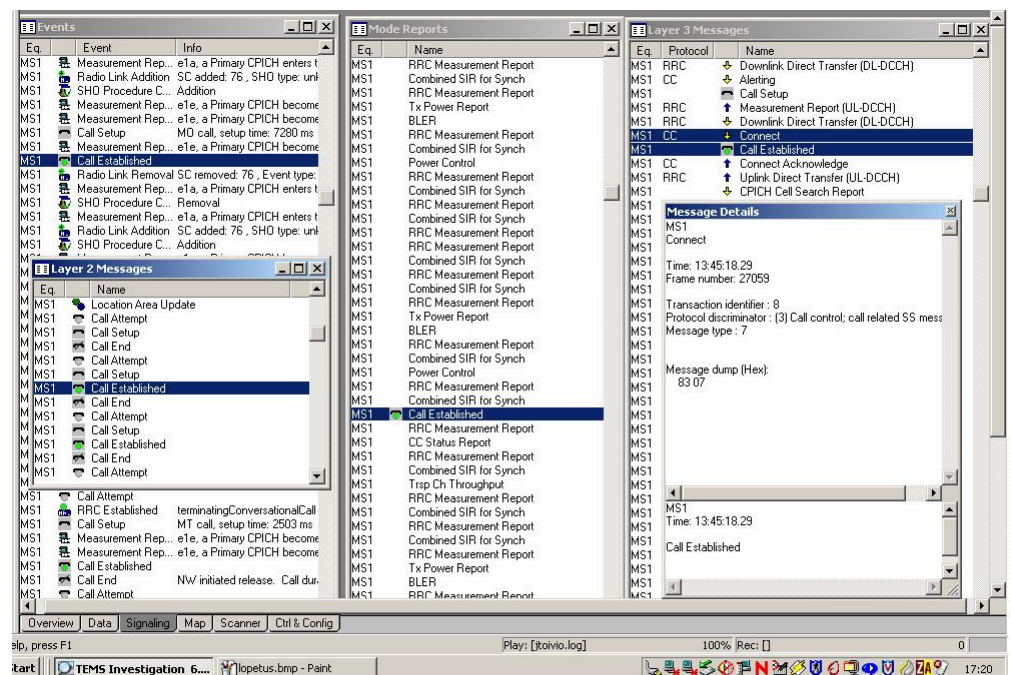
Kuva 26. Puhelun päätyminen

CC ilmoittaa yhteyden vapautumisesta ja puhelu päättyy. UE lähettää vahvistuksen CC:lle puhelun päättymisestä. RRC lähettää yhteystoteutuksen, jonka UE suorittaa ja tämän jälkeen UE palaa taas normaalitilaan. Kuvasta 26 nähdään myös syy puhelun päättymiseen tapahtuma –ikkunasta, joka kertoo käyttäjän, jolle soitettiin olleen varattu (User Busy). Samoin kuvassa on järjestelmäinformaatioviesti, jonka sisällöstä selviää tietoja tukiasemasta, jossa päätelaite on kiinni.



### 5.3 Päätelaitteesta soitettu puhelu, yhdistetty

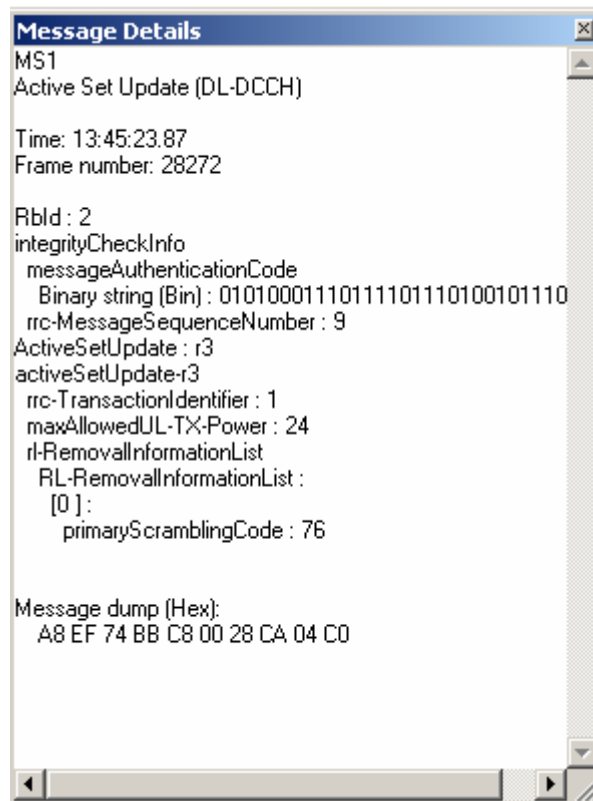
Päätelaitteesta soitetun yhdistetyn puhelun muodostus sujuu samalla tavalla kuin edellisessä kappaleessa. Muutos tulee MM:n lähettämän hälytyksen jälkeen kun puhelua muodostetaan. Soiton muodostuksen (Call Setup) jälkeen UE lähettää RRC:lle mittausraportin ja CC ilmoittaa UE:lle puhelun yhdistymisestä (Connect) (kuva 27).



Kuva 27. Puhelun muodostus

Kun päätelaite on saanut tiedon CC:ltä, että puhelu on yhdistetty sekä puhelu on perustettu (Call Established), UE kuittaa yhdistystiedon CC:lle yhteystiedolla (Connect Acknowledgement). Puhelu on nyt yhdistetty ja voidaan seurata puhelunaikaista liikennöintiä.

UE lähettää tietoa RRC:lle ja saa vastauksena CPICH solun etsintäraportin. RRC lähettää aktiivisen ryhmän päivitykset (Active Set Update) päätelaitteelle, joka suorittaa päivitykset. Aktiivisella ryhmällä tarkoitetaan käytettävän tukiaseman tietoja, joita päätelaite tarvitsee. Päivitykset sisältävät tiedot käytettävästä tukiasemasta (kuva 28).

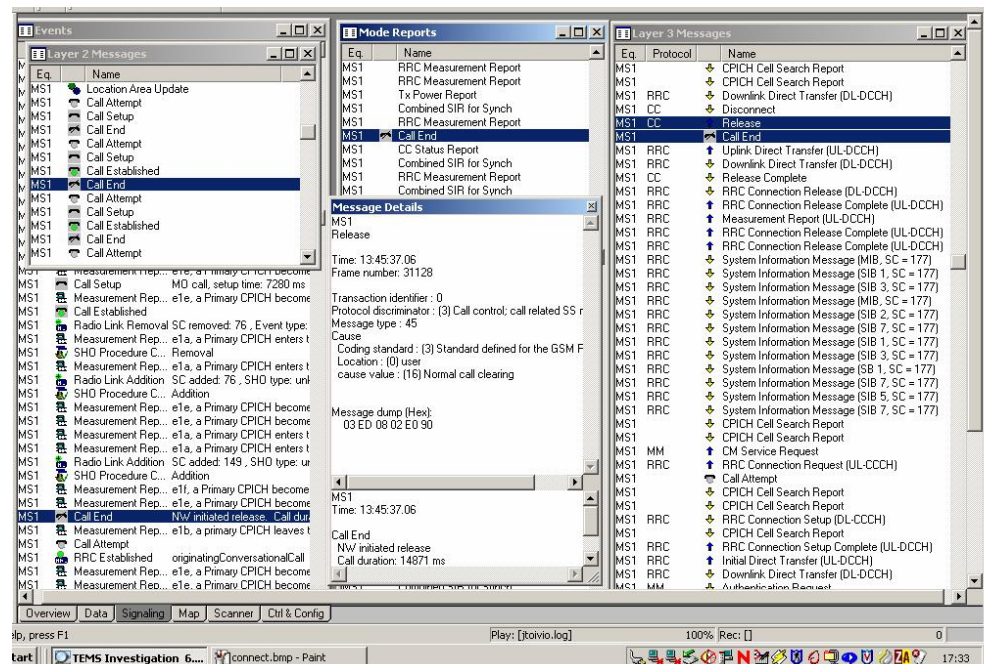


Kuva 28. Aktiivisen ryhmän päivitystiedot

Kuvasta nähdään tukiaseman lähetysteho, ensisijainen SC, viestinumero sekä muita liikennöintitietoja. Päätelaitte lähettää mittausraportin RRC:lle, joka vastaa UE:lle mittauksen ohjauksella eli radioresurssien ohjaus vaihtaa käytettävää tukiasemaa tarvittaessa.

Puhelun aikana liikennöintiä on pelkästään päätelaitteen sekä RRC:n välillä liittyen juuri UE:n mittaamiin arvoihin tukiasemista ja arvojen perusteella niiden mahdollisista muutoksista. Lisäksi RRC lähettää useaan otteeseen aktiivisen ryhmän päivityksiä, jotka päätelaite ottaa käyttöön. CPICH solun etsintä raporteja tulee myös päätelaitteelle RRC:ltä. Niistä UE saa informaatiota muista tukiasemista.

Puhelu päättyy päätelaitteen katkaistessa puhelun (NW initiated release) (kuva 29). CC lähettää UE:lle yhteyden katkaisu ilmoituksen, jonka UE kuitaa yhteyden vapautuksella (Release). Tämän jälkeen UE lähettää autentikointikoodin RRC:lle, johon RRC vastaa ja samassa CC ilmoittaa yhteyden vapautuksen suorituksesta (Release Complete).

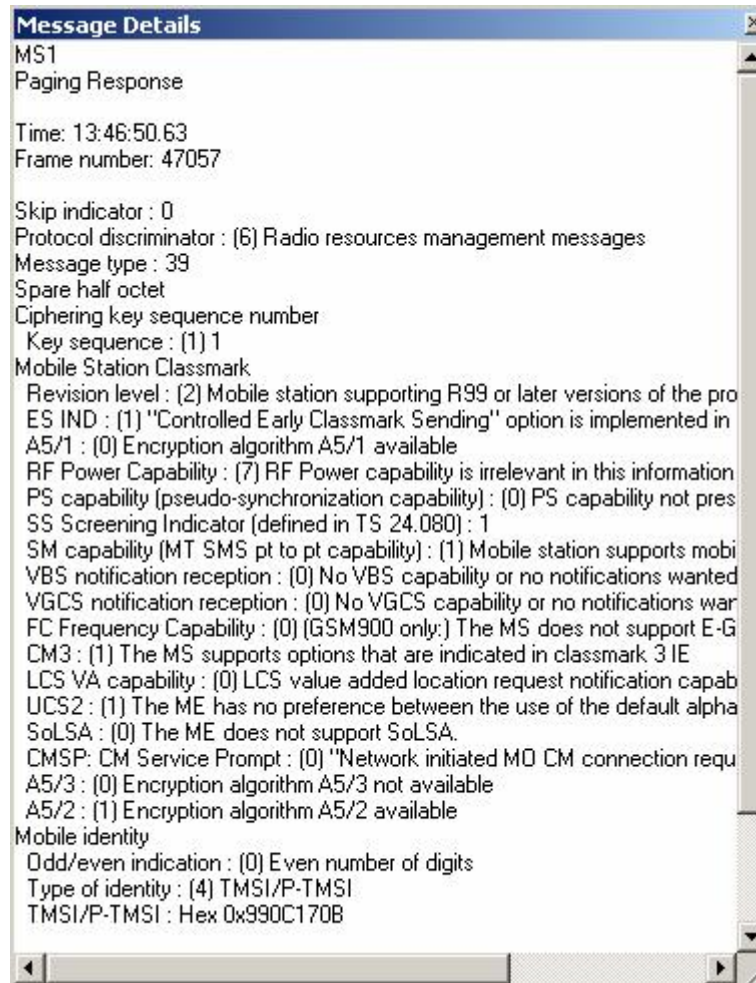


Kuva 29. Yhdistetyn puhelun lopetus.

RRC lähettää UE:lle yhteyden vapautuksen (RRC Connection Release), jonka UE suorittaa ja vastaa siitä RRC:lle. Seuraavaksi UE lähettää mittausraportin RRC:lle ja ilmoittaa vielä kahdesti yhteyden katkaisusta. Lopuksi päätelaite palaa normaalitilaan ja vastaanottaa järjestelmäinformaatioviestettä RRC:ltä.

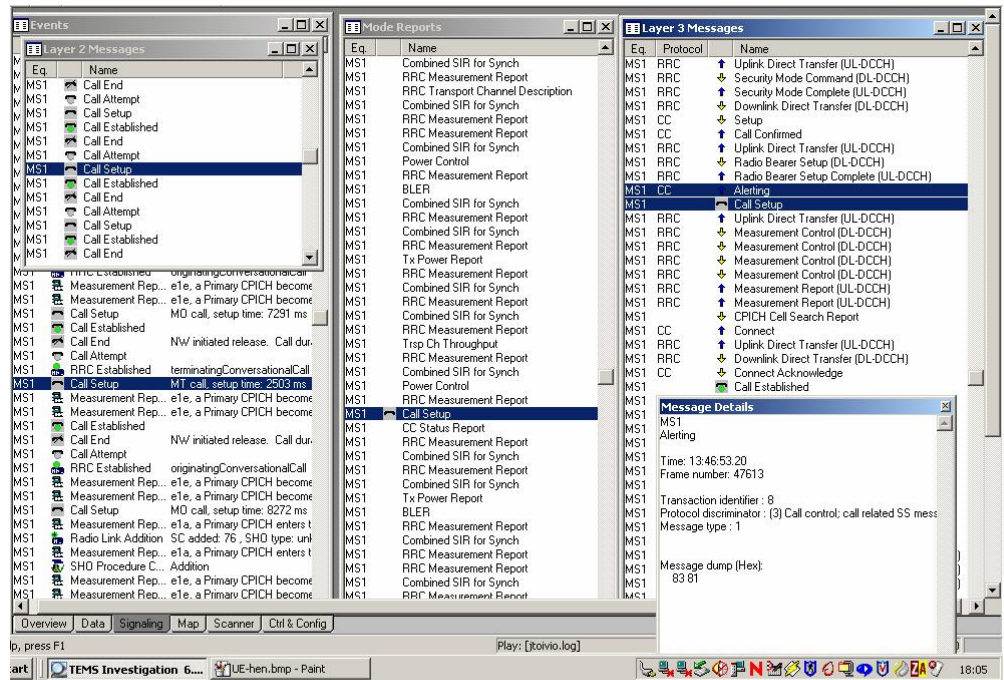
#### 5.4 Päätelaitteeseen soitettu puhelu, yhdistetty

Päätelaitteeseen soitettaessa RRC lähettää hakutyyppin 1 (Paging Type 1), johon päätelaite vastaa (Paging Responce). Tämä sisältää tietoja puhelimen kyvyistä verkon suhteen. Siinä on esimerkiksi enkryptaus algoritmeja, puhelimen tukemia taajuuksia ja tehonsäätömahdollisuuksia (kuva 30).



Kuva 30. Paging Response

Päätelaite lähettää yhdistyspyynnön RRC:lle saatujen tietojen perusteella ja saa vastauksena yhteysasetukset. UE suorittaa yhteysasetukset ja ilmoittaa siitä RRC:lle. Seuraavaksi UE vastaanottaa MM:ltä autentikointipyynnön, johon se vastaa. Puhelun muodostus jatkuu turvallisuusmoodi komennolla, jonka RRC lähettää UE:lle. Seuraavaksi CC lähettää UE:lle puheluasetukset, jotka päätelaite vahvistaa. RRC lähettää Radio Bearer asetukset UE:lle, jotka puhelin suorittaa. Päätelaite ilmoittaa CC:lle, että puhelin hälyttää ja ilmoittaa samalla puheluasetuksista (kuva 31).



Kuva 31. Puheluasetukset

RRC lähettää mittauksen ohjaustietoja UE:lle, joihin UE vastaa mittausraporteilla. Päätelaitte saa CPICH solun etsintäraportin ja ilmoittaa sitten CC:lle puhelun yhdistämisestä (Connect) eli päätelaitteesta painettiin vastausnäppäintä. CC kuittaa tiedon ilmoittamalla yhteystiedon (Connect Acknowledgement) ja samalla tulee tieto puhelun yhdistymisestä (Call Established).

Puhelun aikainen liikennöinti kulkee samoin kuin kappaleessa 5.3. Puhelun päättymisen liikennöintiin vaikuttaa tietenkin se, että kummasta päästä puhelu lopetetaan, UE:sta vai päätelaitteesta, josta tai johon puhelu on soitettu. Tässä tapauksessa puhelun lopetuksen liikennöinti kulkee samoin kuin kappaleessa 5.3.

## 5.5 Päätelaitteen tekemä yhteysvastuun vaihto puhelun aikana

Yhteysvastuunvaihdolla tarkoitetaan päätelaitteen siirtymistä tukiasemasta toiseen puhelun aikana. Soft Handover eli pehmeä yhteysvastuunvaihto tarkoittaa tukiasemasolusta siirtymistä toiseen tukiasemasoluun. Yhteysvastuun vaihdon tapahtumia voidaan seurata Layer 3 –ikkunasta sekä tapahtuma –ikkunasta. Tapahtuma –ikkunasta selviää tiedot tukiasemasta johon päätelaite on yhteydessä tai johon se on siirtymässä.

Yhteysvastuun vaihto suoritetaan yhdistämällä puhelu kappaleen 5.3 mukaan ja puhelun aikana liikkumalla mittapisteen ympäristössä noin 25 metrin matkalla. Mittauslaitteiston kanssa voidaan kävellä ympäriinsä ja mitata tuloksia, koska ohjelmisto on asennettu kannettavaan tietokoneeseen ja päätelaite on kytketty siihen.

Pätelaite lähettää puhelun aikana mittausraportteja RRC:lle, joka ohjaa verkon parametrien mukaan tukiasemien käyttöä. Mittauraportin tietojen mukaan RRC lähettää päätelaitteelle aktiivisten ryhmien päivityksiä, jotka puhelun ottaa käyttöönsä (kuva 32).

The screenshot shows the TEMS Investigation 6.0 interface. The main window is divided into several panes. On the left, there's an 'Events' pane showing a list of events for MS1, including 'Radio Link Addition', 'SHO Procedure C...', and 'Radio Link Removal'. The 'Mode Reports' pane shows a list of reports, with 'Combined SIR for Synch' selected. The 'Layer 3 Messages' pane shows a detailed view of the selected report, including the following information:

- Cell Type: UTRAN Description - Complete
- Cell Type: (2) AS, Cell part of the active set (CELL\_DCH mode)
- PrimaryScramblingCode: 342
- UarFid: 10837
- CPICH RSCP (dB): -86
- CPICH Ec/No (dB): -8
- Path Loss (dB): Not Valid

The bottom status bar shows 'Play: [TOIVIO2.LOG] 100% Rec: 0' and the system tray includes the Start button, TEMS Investigation 6.0, and other background applications.

Kuva 32. Yhteysvastuun vaihdon tapahtumat

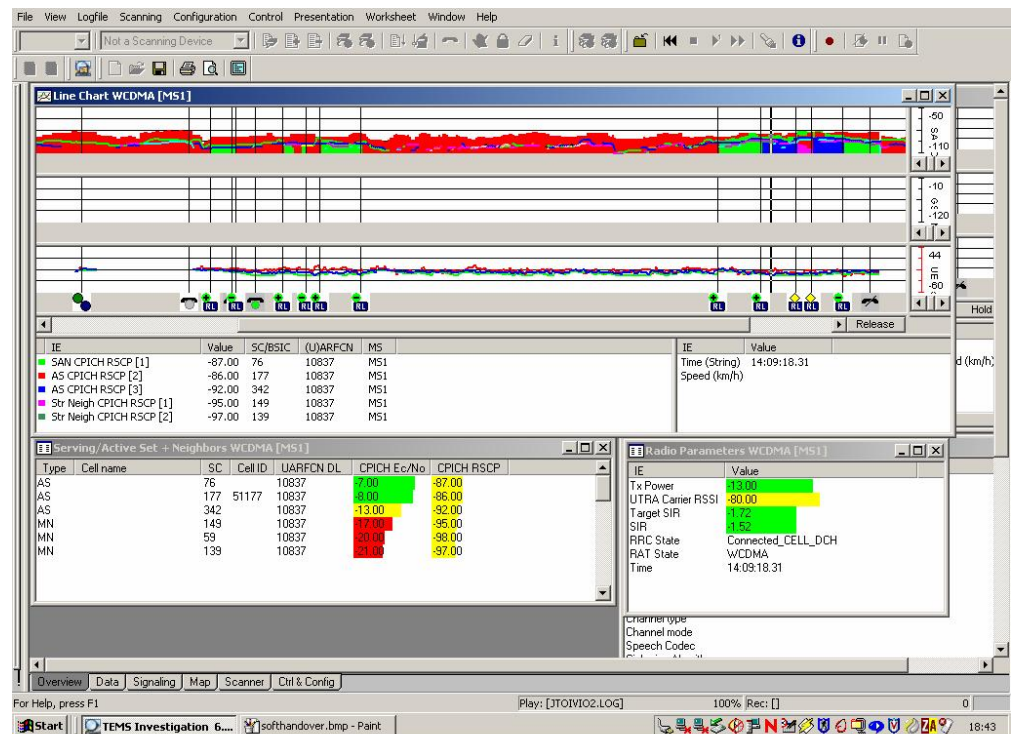
Tapahtuma –ikkunasta nähdään kuinka mittausraporttien jälkeen radiolinkkejä lisätään tai muutetaan. Tiedoista selviää lisättävän tai poistettavan tukiaseman sekoituskoodit SC. Radiolinkin lisäyksen yhteydessä Mode Report –ikkunaan tulee viesti Combined SIR for Synch . Viesti sisältää tiedon SIR arvosta eli yhdistetyn signaalihäiriösuhteen voimakkuuksista desibeleinä 40 millisekunnin sekä 160. millisekunnin kohdalla.

Puhelun alkaessa päätelaite on yhteydessä tukiasemaan, jonka SC on 76. Puhelun aikana päätelaite tekee yhteysvastuunvaihdon viisi kertaa. Alussa päätelaite vaihtaa tukiasemasolujen välillä eli tekee pehmeän yhteysvastuun vaihdon neljä kertaa ollessaan yhteydessä tukiasemaan, jonka SC on 76. Tämän jälkeen RRC ilmoittaa UE:lle mittausraportin tulosten perusteella tukiaseman, jonka SC on 342, olevan parempi. Radiolinkki lisätään RRC:n toimesta ja päätelaite siirtyy uuteen tukiasemaan.

Muutama sekunti myöhemmin, RRC on havainnut tukiaseman, jonka SC on 149, paremmaksi ja lähettää aktiivisen ryhmän päivityksen UE:lle. Päätelaite suorittaa päivityksen ja siirtyy uuteen tukiasemaan. Tässäkin tukiasemassa päätelaite on vain hetken, kunnes se siirtyy takaisin tukiasemaan, jonka SC

on 342. Työssä aikaisemmin esitetystä kuvasta 20, nähdään tukiasemat, joiden välillä yhteysvastuun vaihto tapahtuu. Tukiasemaa, jonka SC on 149, ei kuvasta nähdä, koska se on kartan ulkopuolella.

Kuvasta 33 nähdään yhdistyminen verkkoon, koko puhelun aikana tapahtuneet signaalimuutokset, puhelun tapahtumat, tukiasemasolujen arvot ja sekoituskoodit.



Kuva 333. Verkkoon yhdistyminen ja puhelun aikaiset tapahtumat

Lisäksi kuvasta 33 nähdään radioparametrit ja CPICH signaalikohinasuhteet eri tukiasemien välillä. Tulokset on tarkasteltuna ikkunan oikeasta reunasta, jossa tapahtui paljon yhteysvastuunvaihtoja. Serving/Active Set -ikkunasta nähdään, että päätelaite on havainnut kuusi naapurisolua, joista kolme on aktiivisena. Näistä aktiivisina olevista soluista päätelaite mittaa CPICH signaalikohinasuhdetta ja raportoi mittauksensa RRC:lle. Tällä hetkellä käytössä olevan tukiaseman radioparametrit voidaan lukea Radio Parameters -ikkunasta.



## 6 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin 3G-verkon rakennetta, verkon toteutuksia sekä verkon tiedonsiirrossa käytettäviä protokollarakenteita. Lisäksi tutkittiin päätelaitteen ja UMTS -radioverkon välistä toimintaa verkkoon liittymän sekä puhelunmuodostusten osalta.

Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä mahdollistaa huomattavasti monipuolisemmat palvelut ja nopeamman tiedonsiirron kuin aikaisempi toisen sukupolven GSM-järjestelmä. Verkon rakenne on monimutkaistunut ja sen hallinta on hankalampaa kuin ennen johtuen siitä, että verkko on rakennettu valmiiksi tulevaisuuden palveluille ja muutoksille.

Työhön suunniteltua varsinaista 3G-laboratorioverkon rakentamista ei saatu suoritettua tukiasemahankinnan vaikeudesta johtuen. Iub -rajapinnan toimintaa tutkittiin protokollatasolla eikä varsinaisia mittauksia päästy tekemään. Työssä päädyttiin käyttämään lähiympäristön tukiasemia ja tekemään ilmarajapinnasta laajemmat mittaukset.

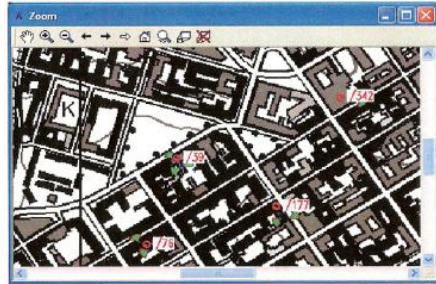
Ilmarajapintamittauksista eli päätelaitteen ja UTRA -verkon välisestä liikennöinnistä saatiin hyvin monipuoliset tulokset. Mittauksista selvisi päätelaitteen kirjautuminen UMTS -verkkoon sekä puheluiden muodostuksessa tapahtuva signaalointi ilmarajapinnassa. Liikennöinti tapahtuu päätelaitteen, radioverkko-ohjaimen ja runkoverkon välillä, jossa tukiasema toimii tietoliikenteen välittäjänä.

## VIITELUETTELO

- [1] Heikki Kaarainen, Ari Ahtiainen Lauri Laitinen, Siamäk Naghian, Valtteri Niemi, UMTS NETWORKS Architecture, Mobility and Services. Second edition. John Wiley & Sons Ltd. 2005 s.406
- [2] Holma Harri-Toskala Antti, WCDMA FOR UMTS Radio Access For Third Generation Mobile Communication. Second edition. UK: John Wiley & Sons Ltd. 2002. s.391
- [3] Professor P. Stavroulakis, Third Generation Mobile Telecommunication Systems. UMTS and IMT-2000. Greece: Springer. s.657
- [4] Signalling System 7. [ Verkkodokumentti, viitattu 15.09.2007]. <http://en.wikipedia.org/wiki/SS7>
- [5] SS7 Protocol Stack [ Verkkodokumentti, viitattu 15.09.2007]. <http://www.pt.com/tutorials/ss7/stack.html>
- [6] ERICSSON. [ Verkkodokumentti, viitattu 09.10.2007]. <http://www.ericsson.com/solutions/tems/>
- [7] TEMS Investigation\_datasheet.[Verkko dokumentti, viitattu 09.10.2007]. [http://www.ericsson.com/solutions/tems/realtime\\_diagnostics/ti\\_8.0/TEMS\\_Investigation\\_datasheet.pdf](http://www.ericsson.com/solutions/tems/realtime_diagnostics/ti_8.0/TEMS_Investigation_datasheet.pdf)
- [8] playground\_800x600.[ Verkkodokumentti, viitattu 18.10.2007]. [https://www.nethawk.fi/products/playground\\_800x600.jpg](https://www.nethawk.fi/products/playground_800x600.jpg)
- [9] nethawk\_rnciub\_simulator.[ Verkkodokumentti, viitattu 18.10.2007]. [https://www.nethawk.fi/products/nethawk\\_simulators/nethawk\\_rnciub\\_simulator/](https://www.nethawk.fi/products/nethawk_simulators/nethawk_rnciub_simulator/)
- [10] NetHawk\_RNClub\_Simulator\_v2.0\_data\_sheet .[ Verkkodokumentti, viitattu 18.10.2007]. [https://www.nethawk.fi/products/nethawk\\_simulators/nethawk\\_rnciub\\_simulator/NetHawk\\_RNClub\\_Simulator\\_v2.0\\_data\\_sheet.pdf](https://www.nethawk.fi/products/nethawk_simulators/nethawk_rnciub_simulator/NetHawk_RNClub_Simulator_v2.0_data_sheet.pdf)

Suomen UMTS-lisäselitteidät

Tietokannan nimi	Screening Code	Kotipaikan antenni				Sisäpihan antenni 1				Sisäpihan antenni 2						
		Antennin tyyppi	Antennin korkeus	Antennin suunta	Tilittaus	Piikin tehoteho antenniosuudessa (dBm)	Antennin tyyppi	Antennin korkeus	Antennin suunta	Tilittaus	Piikin tehoteho antenniosuudessa	Antennin tyyppi	Antennin korkeus	Antennin suunta	Tilittaus	Piikin tehoteho antenniosuudessa
Kuivahäntienkatu 8	39	K742232	12	202	0	26	K742232	15	80	0	26	K742232	15	200	0	26
Luukkila 41	76	K8010048	12	310	0	27	K8010048	10	80	0	26	K8010048	10	200	0	26
Kalevankatu 36	177	K742211	12	80	0	26	K8010048	9	20	9	26					
Enkkikatu 11	342	K8010048	11	812	0	35										



Kuva on otettu vain lukuun, jään Good onal laulossa.

