



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**Tuomo Eskola**

**UMTS-radioverkon hallintaprotokollat ja kehitys**

Diplomityö

Tarkastaja: Prof. Markku Renfors

Tarkastaja ja aihe hyväksytty tieto- ja  
sähkötekniikan tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 12. elokuuta 2015

# Tiivistelmä

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tietotekniikan koulutusohjelma

**Eskola, Tuomo:** UMTS-radioverkon hallintaprotokollat ja kehitys

Diplomityö, 63 sivua, 1 liitesivu

Huhtikuu 2016

Pääaine: Langaton Tietoliikenne

Tarkastaja: Prof. Markku Renfors

Avainsanat: 3G, kuittaus, Radio Link Control, RLC, pakettipalvelu, protokolla, tiedonsiirto

Radioverkkojärjestelmien suunnittelu, käyttöönotto ja ylläpito ovat tekniikan nopean kehittymisen ansiosta kokoajan muuttuvassa tilassa pyrkien varmistamaan yhteensopivuuden vanhempien standardien kanssa. UMTS-järjestelmän yli 10 vuoden olemassaoloaikana jokainen järjestelmän protokolla on elänyt kehitys-, käyttöönotto- ja ylläpitovaiheet, osa elää niitä kaikkia vielä tällä hetkellä. Tiedonsiirron vaatimusten noustessa sekä tekniikan kehittyessä esimerkiksi RLC-protokollalta on vaadittu toimintoja, joita ei alkuperäisessä kehitystyössä oltu ajateltu. Protokollan pitkän iän takia protokollan toteuttajan tarvitsee pitää mielessä yhteensopivuus kaikkien eri kehitysversioiden kanssa. Erityisesti erot standardien tulkinnassa voi aiheuttaa eroja eri valmistajien protokollatoteutuksien välillä.

Aloitin opinnäytetyöni tekemisen kirjallisuusselvityksenä tutustuakseni UMTS-radioverkon RLC-protokollaan. Tavoitteena oli perehtyä uuden työn antamaan haasteeseen matkapuhelinjärjestelmän protokollan kehittäjänä ja testaajana. Kuten työssäkin havaitaan, yhteensopivan protokolla-toteutuksen pitää noudattaa tarkasti teknisesti kirjoitettua standardia. Selvityksen perustana oli 3GPP-yhteisön kehittämä RLC-protokollan standardi, standardiin perustuva teollisuuden näkökulmasta kerrottu kirjallisuus sekä käytännön kokemukset.

Työn edetessä painopiste muuttuu standardiin perustuvasta protokollakuvauksesta lähemmäksi tuotekehitysselvitystä uusien tekniikoiden aiheuttamia muutoksia analysoitaessa. Selvitys osoittaa, että vaikka muutokset tehtiin suunnitteleamalla uutta toiminnallisuutta vanhan protokollatoteutuksen vierelle, pystyttiin myös vanhaa protokollatoiminnallisuutta parantamaan. Tämä osaltaan osoittaa sen, että jo luotuja standardejakin voidaan edelleenkehittää kunhan mahdolliset ongelmatilanteet tai kehityksen kohteet voidaan paikantaa.

Ohjelmiston elinkaaren mukaan selvitän miten ongelmatilanteita voidaan havaita RLC-

protokollan toteutuksen ylläpitovaiheessa. Yleisesti voidaan sanoa, että ongelmat ovat ihmislähtöisiä, johtuvat ne sitten järjestelmän tai siihen kuuluvan protokollan suunnittelusta tai toteutuksesta. Hyvin sijoitetuilla tarkastelupisteillä voidaan radioverkon tiedonsiirron laatua määrittää eri tilanteissa. Tällä informaatiolla olemassaolevan protokollan toteutusta tai uuden protokollakehitysversion toiminnallisuutta voidaan kehittää entistä tehokkaampaan suuntaan.

# Abstract

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information Technology

**Eskola, Tuomo:** UMTS telecommunication management protocols and evolution

Master of Science Thesis, 63 pages, 1 appendix

April 2016

Major: Wireless Communications

Examiner: Prof. Markku Renfors

Keywords: 3G, Acknowledgement, Radio Link Control, RLC, packet service, protocol, data transmission

The rapid evolution of the technological achievements causes the design, implementation and maintenance of a radio access network to be on constantly evolving mode. This ensures that the compatibility between releases is according to standards. In the life-time of the UMTS system every protocol of it has been on design, implementation and maintenance phases and some of the protocols are still undergoing all of those. As the requirements for data transmission increases and the dependent technic advances the requirements for RLC protocol are beyond the capabilities designed on the first releases. Due to the long age of RLC protocol the needs for compatibility for the elder releases in implementation phase needs to keep in mind. Especially differences in the interpretation of standards might cause issues between RLC protocol implementations of different vendors.

The thesis was started as a literature study to get familiarize with RLC-protocol on UMTS system. Goal was to take the challenge from a new job as a developer and testing person of a wireless communication system. As seen in the thesis the compliant protocol implementation needs to follow strictly the technically written standard. As a main source for the study I used the RLC protocol standard from 3GPP community. Also the literature based on standard and from industry as well as my personal experience are sources for the thesis. As the thesis evolves the main emphasize turns from standard based literature study towards R&D study. The main point is to analyze the changes due to new features. Study shows that even though the new design was done as adjacent implementation for the existing RLC protocol, the development was made for the original part also. This proves that evolve of already existing protocol designs is possible as long as problems and development items can be identified. Based on life cycle of sw process I clarify how problems can be identified from a maintenance phase of a RLC protocol implementation. Generally it is safe to say that problems are

human oriented, either caused by bad designing or implementation. Common to all problems is that the end user experience is inversely propotional to the number or severity of problems. With well defined monitoring places the quality of data transmission on radio access network can be determined. With this information the evolve of existing protocol or designing a new protocol is used to drive the functionality of radio network to more efficient direction.

# Alkusanat

Opinnäytetyöni on kirjoitettu pitkän kaavan mukaan. Aloitin työn tekemisen vuonna 2007, työurani alkupuolella matkapuhelinjärjestelmien kehittäjänä. Oman kokemuksen karttuessa ja työtehtävieni muuttuessa suhteeni opinnäytetyöhön muuttui kirjallisuusselvityksestä henkilökohtaisemmaksi kertomukseksi omasta työstä. Ehkä se on sen takia ollut vaikeaa asettaa sanoiksi.

Materiaalin kasaaminen on tapahtunut kokemuksen kautta vuosien varrella, mutta varsinainen kirjoittaminen on ollut kausiluontoista vuosien 2009 ja 2015 välillä. Osittain tavoitteena kirjoitustyössä on ollut sisäistää standardin tekninen kieli hieman vähemmän tekniseksi, lähinnä auttaa ymmärtämään paremmin standardin takana olevat suunnittelupäätökset.

Kiitokset yrityksille, joiden palveluksessa olen saanut tehdä samaa työtä kaikkien näiden vuosien ajan. Myös työyhteisön positiivinen työilmapiiri auttoi yrittämään kaikki ne vuodet kun opinnäytetyössä oli vasta kansilehti valmiina.

Tahdon myös kiittää äitiä, isää ja sisaruksiani ja muita läheisiä vankkumattomasta kannatuksesta ja kiinnostuksesta opinnäytetyöni edistymiseen vuosien varrella.

Suurimmat kiitokset haluan esittää vaimolleni Anna-Maijalle ja lapsilleni Elsille ja Eliakselle niistä lukemattomista tunteista joita olen saanut käyttää opinnäytetyöni viilaamiseen.

Kiitos.

Tampereella, 4.4.2016

Tuomo Eskola

## Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	1
2 RLC-protokolla UMTS-radioverkossa.....	2
2.1 RLC-protokollan instanssityyppi.....	3
2.1.1 Läpinäkyvä RLC .....	4
2.1.2 Kuittaamaton RLC.....	5
2.1.3 Kuittaava RLC.....	6
3 Kuittaavan RLC -instanssin toiminnot.....	8
3.1 Tiedonsiirto.....	8
3.2 Virheiden käsittely ja toipuminen.....	9
3.3 Identtisten datapakettien poisto.....	9
3.4 Järjestäminen.....	10
3.5 Tietovuon hallinta.....	10
3.6 Virheenkorjaus.....	10
3.7 Kokoaminen.....	11
3.8 Paloittelu.....	11
3.9 Ketjuttaminen.....	11
3.10 Datapaketin täyttö.....	12
3.11 Salaus.....	12
4 RLC AM -protokollan rajapinnat.....	13
4.1 RRC- ja RLC-protokollien välinen rajapinta.....	13
4.2 PDCP- ja RLC-protokollien välinen rajapinta .....	14
4.3 MAC- ja RLC-protokollien välinen rajapinta.....	15
4.4 RLC-instanssien välinen rajapinta.....	16
5 RLC AM -instanssin sisäinen rakenne.....	17
5.1 Protokollan tilakone.....	17
5.2 Protokollan sisäiset muuttujat.....	18
5.2.1 VT(S) eli lähetys-tilamuuttuja.....	19
5.2.2 VT(A) eli kuittaus-tilamuuttuja.....	20
5.2.3 VT(DAT) eli lähetyskerta-tilamuuttuja.....	20
5.2.4 VT(WS) eli lähetysikkuna-tilamuuttuja.....	20
5.2.5 VT(MS) eli suurin lähetys -tilamuuttuja.....	21
5.2.6 VT(PDU) eli PDU-kohtainen tilaraportin pyyntö -tilamuuttuja.....	21
5.2.7 VT(SDU) eli SDU-kohtainen tilaraportin pyyntö -tilamuuttuja.....	22
5.2.8 VT(RST) eli uudelleenalustus-tilamuuttuja.....	22
5.2.9 VT(MRW) eli vastaanottoikkunan siirto -tilamuuttuja .....	22
5.2.10 VR(R) eli vastaanotto-tilamuuttuja.....	23
5.2.11 VR(MR) eli vastaanottoikkuna-tilamuuttuja.....	23
5.2.12 VR(H) eli korkein odotettu datapaketti -tilamuuttuja.....	23
5.3 Protokollan ajastimet.....	24
5.3.1 Tilaraportin pyyntö -ajastin.....	24
5.3.2 Tilaraportin pyynnön esto -ajastin .....	24
5.3.3 Periodinen tilaraportin pyyntö -ajastin.....	25
5.3.4 Tilaraportin esto -ajastin.....	25
5.3.5 Periodinen tilaraportti -ajastin.....	25

5.3.6 Uudelleenalustus-ajastin.....	26
5.3.7 MRW-kontrolliviestin lähetysväli -ajastin.....	26
5.3.8 RLC SDU:n poisto -ajastin.....	26
6 Tiedonsiirto kuittaavan RLC-protokollan avulla.....	27
6.1 RLC-datapaketti.....	27
6.1.1 Sekvenssinumerointi.....	28
6.1.2 Tilaraportin pyyntö -kenttä (P).....	28
6.1.3 Otsikon laajennos -kenttä (HE).....	29
6.1.4 RLC SDU:n loppu - eli LI-kenttä.....	29
6.1.5 Dataosuus.....	30
6.2 Kontrolliviesti.....	31
6.2.1 Viestin tyyppi.....	31
6.2.2 SUFI -tilaviesti.....	32
Data loppu (No More Data).....	33
Ikkunan koko (Window).....	33
Kuittaus (Ack).....	33
Lista (List).....	33
Bittikartta (Bitmap).....	34
Suhteellinen lista (Rlist).....	34
RX-ikkunan siirto (MRW).....	34
RX-ikkunan siirron kuittaus (MRW Ack).....	35
6.2.3 Liitettävä kontrolliviesti.....	35
6.3 RLC AM -datapaketin uudelleenlähetys.....	35
6.4 RLC AM -instanssin uudelleenmuodostus.....	36
6.5 RLC SDU:n poistaminen.....	36
6.5.1 Aikaperustainen RLC SDU:n poisto .....	37
6.5.2 Lähetyskertaperustainen RLC SDU:n poisto.....	37
6.5.3 RLC SDU:n poisto signaloinnin avulla.....	38
6.5.4 RLC SDU:n poisto uudelleenalustuksessa.....	38
6.6 RLC AM -instanssin uudelleenalustusrutiini.....	39
7 Tiedonsiirron kehitysaskeleet RLC AM -protokollassa.....	42
7.1 Tiedonsiirtonopeus.....	42
7.2 Tiedonsiirron tehokkuus RLC-protokollakerroksella.....	44
7.3 HSPA+ .....	45
7.4 Flexible RLC.....	45
7.4.1 Flexible RLC -tiedonsiirron vaatimukset .....	46
7.4.2 Flexible RLC:n aiheuttamat muutokset RLC-protokollassa.....	47
Vaihtuvan mittainen RLC AMD PDU.....	47
Tiedonsiirto vaihtuvanmittaisen RLC AMD PDU:n kanssa.....	48
Special HE -arvo.....	48
Tilaraportin pyyntö tilaviestillä eli Poll SUFI.....	49
7.4.3 FRLC:n muutosten vaikutukset muihin protokolliin.....	50
8 RLC AM -protokollan haasteet UMTS-verkossa.....	51
8.1 RLC AM -protokollan asetusparametrongelmat.....	51
8.2 RLC AM -protokollan tiedonsiirto-ongelmat.....	52
8.3 RLC AM -protokollan ongelmien havaitseminen.....	53
RLC instanssin sisäinen tarkastelu.....	55
9 YHTEENVETO.....	56



LÄHTEET.....	58
LIITTEET.....	60
LIITE A – RLC AM -instanssin vuokaavio.....	60

## Kuvaluettelo

Kuva 1: UMTS-topologia ja protokollapino pakettipalvelulle.....	2
Kuva 2: Radioverkon protokollarajapinnat.....	3
Kuva 3: RLC UM -instanssin toiminnallisuus.....	5
Kuva 4: RLC AM -instanssin toiminnallisuus.....	6
Kuva 5: Siirtoyhteyskerroksen datapaketit tiedonsiirrossa.....	9
Kuva 6: RLC- ja RRC-protokollien välinen rajapinta.....	13
Kuva 7: RRC-viestin välitys päätelaitteelle.....	14
Kuva 8: Rajapinta RLC:n ja RLC:n yläpuolisen tiedonsiirtoprotokollan välillä.....	15
Kuva 9: RLC- ja MAC- protokollakerrosten välinen rajapinta.....	16
Kuva 10: RLC AM -instanssin tilakone.....	18
Kuva 11: RLC AM -instanssin lähetys- ja vastaanottoikkunat.....	19
Kuva 12: RLC AMD -datapaketti.....	28
Kuva 13: HE-kentän arvot.....	29
Kuva 14: 15-bittisen RLC SDU:n pituusindikaattorin erikoisarvot.....	30
Kuva 15: 7-bittisen RLC SDU:n pituusindikaattorin erikoisarvot.....	30
Kuva 16: RLC AM -kontrolliviesti.....	31
Kuva 17: Kontrolliviestin tyypit.....	32
Kuva 18: SUFI-kentät.....	32
Kuva 19: RLC AM -protokollan uudelleenlähetysrutiini.....	36
Kuva 20: Uudelleenasetuksen pyyntö – ja kuittaus -viestien muoto.....	41
Kuva 21: RLC AM -protokollan maksimaalinen tiedonsiirtonopeus eri RLC- datapaketin ko' oilla.....	44

# Termit ja niiden määritelmät

3G	Kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä
3GPP	Third Generation Partnership Project -yhteisö
AAL2	ATM-adaptaatiokerros yhteydellisille palveluille
AAL5	ATM-adaptaatiokerros pakettipalveluille
All-IP -verkko	Verkon sisäinen kommunikointi on toteutettu IP-tekniikalla
ARQ	Automatic Repeat Request, virnehallintamekanismi
ATM	Asynchronous Transfer Mode, pakettikytkentäinen asynkroninen tiedonsiirtotapa
BMC	Broadcast/Multicast Protocol, yleislähetysprotokolla tietoliikenneverkon päätelaitteille
Cell-FACH	Forward Access Channel, päätelaite käyttää jaettuja ja yleisiä resursseja kommunikointiin verkon kanssa
CN	Core Network, runkoverkko
CS	Circuit Switched, piirikytketty tiedonsiirtoverkko
CS Voice over HSPA	Puhepalvelu HSPA-tekniikan avulla toteutettuna
DC	Dual Cell, HSDPA-tiedonsiirto usean kantaallon avulla yhtäaikaaisesti
DCH	Dedicated Channel, UE:n ja radioverkon välinen looginen tiedonsiirtokanava
DL	Downlink, alavirta
DUT	Design Under Test, testattava järjestelmä
Ethernet	Xerox:n kehittämä tietoliikenneverkkomäärittäminen
Flexible RLC	FRLC, 3GPP Release7-standardin mukainen vaihtoehtoinen RLC-protokollakerroksen tiedonsiirtotapa
FP	Frame Protocol, Iub-rajapinnalla käytettävä kehysprotokolla
FTP	File Transfer Protocol, TCP-protokollaa käyttävä tiedonsiirtomenetelmä
Go-Back-N	ARQ-protokollan erityismuoto, tiedonsiirto perustuu lähetys- ja vastaanottoikkunaan, käytössä esimerkiksi TCP-protokollassa
GPRS	General Packet Radio Service, pakettimuotoinen tiedonsiirto-

	muoto, esimerkiksi runkoverkossa
GTP	GPRS Tunneling Protocol, tiedonsiirtomuoto IP-tyyppiselle datalle tietoliikennejärjestelmissä
GTP-u	RNC:n ja CN:n välinen tiedonsiirtomuoto käyttäjän datalle
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request, optimoitu ARQ-mekanismi langattomiin järjestelmiin
HS-DSCH	Hybrid Automatic Repeat Request, optimoitu ARQ-mekanismi langattomiin järjestelmiin
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access, 3GPP Release5-standardin mukainen nopea alavirran tiedonsiirtotekniikka
HSPA	High Speed Packet Access, 3GPP Release6-standardin mukainen ylä- ja alavirran nopea tiedonsiirtotekniikka
HFN	Hyper Frame Number, salauksen synkronointiin käytettävä sekvenssinumero
IP	Internet Protocol, osoitteistuksella toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtomuoto
Iub	UMTS-radioverkon RNC:n ja NodeB:n välinen rajapinta
Iu-CS	UMTS-radioverkon RNC:n ja NodeB:n välinen rajapinta
Iu-PS	UMTS-radioverkon RNC:n ja SGSN:n välinen rajapinta
MAC	Medium Access Control, alempi siirtoyhteyskerroksen protokolla
MAC-ehs	MAC Enhanced High Speed, HSPA+-määritelmän joustava MAC-kerroksen tekniikka suuriin tiedonsiirtonopeuksiin
MIMO	Multiple Input Multiple Output, useamman antennin käyttäminen tiedonsiirrossa
MSC	Mobile Switching Centre, runkoverkon elementti, jossa määritellään päätelaitteen sijaintiriippuvaiset toiminnot
NAS	Non-Access Stratum, toiminnallinen protokollapinon kerros päätelaitteen ja runkoverkon väliseen signalointiin
NodeB	Non-Access Stratum, toiminnallinen protokollapinon kerros päätelaitteen ja runkoverkon väliseen signalointiin
NRT	Non-Real Time, tiedonsiirtomuoto, joka ei ole viivekriittinen
OSI	Open System Interconnection, 7-kerroksinen tiedonsiirtomalli, jossa jokainen kerros tuottaa palveluita yläpuoliselle kerrokselle
PDPC	Packet Data Convergence Protocol, UMTS-radioverkon protokolla joka suorittaa IP-tiedonsiirron sovittamisen radio-

	verkkoon
PDP	Packet Data Protocol, GPRS-verkon ja päätelaitteen välillä käytettävä protokolla laadun, laskutuksen, reitittämisen ja salauksen esittämiseen
PDU	Protocol Data Unit, protokollakerroksella käsitelty signaalointi- tai datapaketti
Push-To-Talk	Nopeasti yhdistettävä, vuorosuuntainen puhepalvelu
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, kahta erivaiheista kantoaaltoa käyttävä modulaatiomenetelmä suurempiin tiedonsiirtonopeuksiin
QoS	Quality of Service, tietoliikennekanavan laatua esittävä määre esimerkiksi luotettavuuden tai tiedonsiirtonopeuden suhteen
RAB	Radio Access Bearer, looginen kanava radioverkossa NAS-kerroksen tiedonsiirtoon UE:n ja CN:n välillä
Release6	3GPP:n standardi vuodelta 2004, esittelee muun muassa HSUPA-tekniikan
Release7	3GPP:n standardi vuodelta 2007, esittelee muun muassa HSPA+-tekniikan
Release99	3GPP:n standardi vuodelta 2000, esittelee UMTS-radioverkon
ReTx	Retransmission, datapaketin uudelleenlähetys
RLC	Radio Link Control, siirtoyhteyserroksen ylempi protokolla, joka tarjoaa muun muassa luotettavan tiedonsiirtomuodon
RLC AM	RLC Acknowledged Mode, kuittaava RLC-protokollan tiedonsiirtomuoto, jota käytetään esimerkiksi pakettipalveluissa
RLC TM	RLC Transparent Mode, läpinäkyvä RLC-protokollan tiedonsiirtomuoto, jota käytetään esimerkiksi puhepalveluissa
RLC UM	RLC Unacknowledged Mode, kuittaamaton RLC-protokollan tiedonsiirtomuoto, jota käytetään esimerkiksi suoratoistopalveluissa
RNC	Radio Network Controller, radioverkko-ohjain, joka kontrolloi radioverkon käyttöä ja resursseja 3G:ssa
RRC	Radio Resource Control, kontrolloi UMTS-radioverkon asetuksia ja siirtää NAS-viestejä CN:n ja UE:n välillä
RRC-yhteys	Päätelaitteen ja radioverkko-ohjaimen RRC-instanssien välinen yhteys esimerkiksi NAS-signaalointia varten
RRM	Radio Resource Management, valvoo radioverkon resursseja ja

	optimoi järjestelmän tehokkuutta RRC-protokollan avulla
RTT	Round Trip Time, kiertoaika esimerkiksi päätelaitteen ja radioverkko-ohjaimen RLC-protokollakerrosten välisessä tiedonsiirrossa
Rx	Receiving, vastaanottava
SDU	Service Data Unit, ylemmältä protokollakerrokselta vastaanotettu data, jota ei ole vielä prosessoitu
SGSN	Service Data Unit, ylemmältä protokollakerrokselta vastaanotettu data, jota ei ole vielä prosessoitu
Selective-Repeat	ARQ-protokollan erityismuoto, tiedonsiirto perustuu lähetys- ja vastaanottoikkunaan, käytössä esimerkiksi IP-protokollassa
SMS	Short Message Service, matkapuhelinjärjestelmien tekstiviestipalvelu
TCP	Transmission Control Protocol, luotettava ja järjestävä tiedonsiirtomuoto, jota käytetään muun muassa Internetissä
Tx	Transceiver, lähettävä
UDP	User Datagram Protocol, yhteydetön tiedonsiirtoprotokolla, jota käytetään esimerkiksi reaaliaikaisen videon tai äänen välittämiseen.
UL	Uplink, ylävirta
UE	User Equipment, päätelaite
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network, tukiasemista ja radioverkko-ohjaimesta koostuva UMTS-radioverkko
VLR	Visitor Location Register, sisältää kaiken tilaajadatan jota tarvitaan puhelun kontrolloimiseen kyseisellä alueella
VoIP	Voice over IP, IP-puhe, jossa ääntä voidaan siirtää reaaliaikaisesti pakettiverkon ylitse
WCDMA	Wideband Code Multiple Access, UMTS-verkoissa käytettävä radorajapinnan laajakaistatekniikka
Wireshark	Protokolla-analysaattori erilaisten IP-pohjaisten verkkojen analysointiin
WWW	World Wide Web, hypertext-muotoisten dokumenttien kokoelma Internetissä
Youtube	Internetissä toimiva videopalvelu



# 1 Johdanto

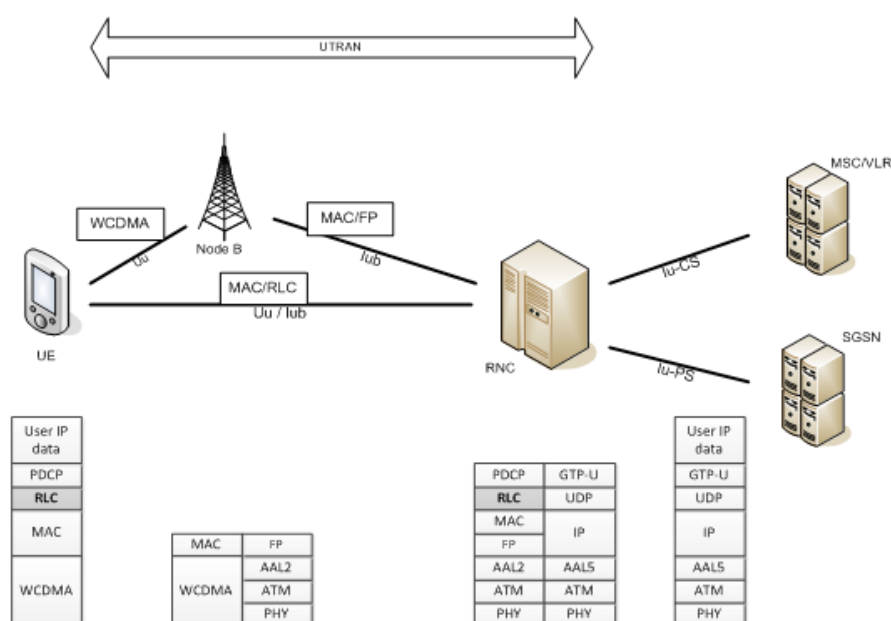
Tietoliikennejärjestelmää suunniteltaessa ja toteuttaessa huomioon otetaan sekä alempien että ylempien protokollakerrosten toiminnallisuus ja niiden välinen työjako. Protokollakerrosten välillä pyritään pitämään abstraktiorajapinta, jolloin eri protokollien toiminnallisuudet saadaan pidettyä toisistaan riippumattomina. Tämän suunnittelu-ideologian ansiosta tietoliikennejärjestelmien kaltaisissa suurissa ja kompleksisissa kokonaisuuksissa jatkokehitys on helpompaa ja suunnittelu- tai toteutusvirheet nopeammin ratkaistavissa. Tietoliikenneprotokollat on jaettu usein OSI-mallin (Open Systems Interconnection Reference Model) mukaisesti, jolloin jokaisella protokollakerroksella on omat tehtävänsä onnistuneen tiedonsiirron aikaansaamiseksi. [1]

Tämä diplomityö käsittelee kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmän, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), siirtoyhteyskerroksen tiedonsiirto-protokollaa eli RLC-protokollaa (Radio Link Control). Työssä painotetaan luotettavaan tiedonsiirtoon yleisimmin käytettyä RLC-protokollan AM-instanssityyppiä (Acknowledged Mode). Diplomityö on tehty itsenäisesti ja työn tarkoituksena oli selvittää tietoliikennealan standardiin perustuvan siirtoyhteyskerroksen protokollan toiminta radioverkossa ja sen rajapinnoilla. Työssä tarkastellaan protokollan toimintaa ja vaikutuksia muihin tietoliikennejärjestelmän protokolleihin ja -elementteihin yksityiskohtaisesti kirjallisuuden ja oman kokemuksen antamissa rajoissa.

Työ voidaan jakaa kolmeen osaan, ensimmäisessä kuvataan työn aiheena oleva RLC-protokolla ja luotettavassa tiedonsiirrossa käytettävää kuittaavaa RLC AM -protokollatyyppiä. Samalla esitellään protokollan rajapintoja matkapuhelinjärjestelmässä ja erilaisia tiedonsiirron mahdollisuuksia ja rajoitteita. Tämän jälkeen kuvataan RLC AM -protokollan toiminnallisuus, sisäiset tilat ja tiedonsiirto protokollan standardin mukaisesti. Myös tiedonsiirtoon osallistuvien ylempien ja alempien protokollakerrosten väliset vuorovaikutukset esitellään lyhyesti. Toisessa osassa keskitytään RLC AM -protokollan tiedonsiirtoon tietoliikennejärjestelmässä. Samalla tutustutaan kuittaavan RLC AM -protokollan kehitykseen kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmän alusta nykyisiin suurien tiedonsiirtonopeuksien palveluihin. Kolmannessa osassa keskitytään RLC-protokollan yleisimpiin ongelmiin ja vianmäärittämiseen RLC-toteutuksen ylläpidossa.

## 2 RLC-protokolla UMTS-radioverkossa

UMTS-radioverkon siirtoyhteyskerroksella käytetään RLC-protokollaa tiedonsiirtoa kontrolloivana elementtinä. Protokollan tärkein tehtävä on sovittaa runkoverkon ja päätelaitteen välinen tiedonsiirto radioverkkoon. Ylempien protokollakerrosten palvelun laatumääritysten perusteella RLC-protokolla asetetaan toimimaan palvelulle parhaimmalla tavalla radioverkon ominaisuudet huomioon ottaen. Kuvan 1 mukaisesti radioverkko-ohjaimen RLC-protokollan instanssi keskustelee suoraan päätelaitteen RLC-protokollan vastaavan instanssin kanssa. Tiedonsiirron sovittamiseksi radioverkkoon protokolla tarjoaa palveluita ylempien kerrosten käyttäjän datan ja kontrollitiedon lähettämiseen eheästi ja luotettavasti. RLC-protokollan palveluita ovat esimerkiksi datapaketin paloittelu, järjestäminen ja salauksen suorittaminen radioverkon datapaketeille. Luotettavuutta vaativille palveluille RLC-protokolla tarjoaa häviöttömän tiedonsiirron radioverkon läpi.[1]

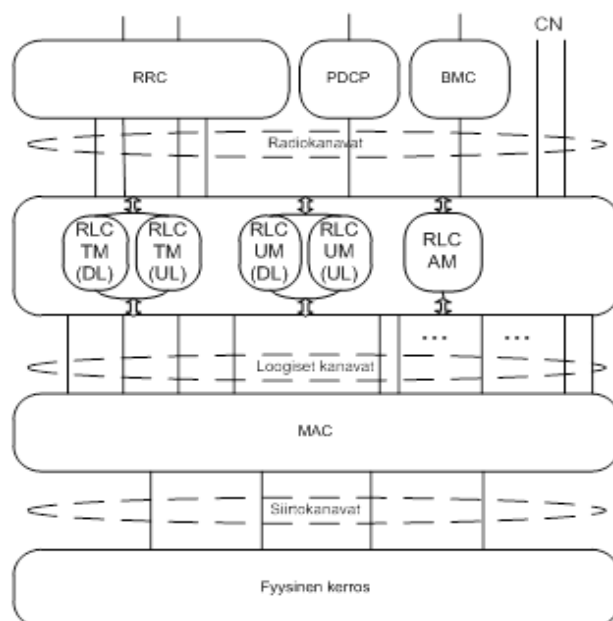


Kuva 1: UMTS-topologia ja protokollapino pakettipalvelulle



## 2.1 RLC-protokollan instanssityyppi

Radioverkkohjaimen ja päätelaitteen RLC-protokollakerroksella toimiva kommunikaatio voi olla yksi- tai kaksisuuntaista riippuen käytetystä RLC-protokollan instanssityypistä. RRM-protokolla (Radio Resource Management) valitsee RLC-instanssin tyyppin palvelun luonnin yhteydessä. Koska RRM-protokolla kontrolloi radioverkon elementtejä ja niiden parametrejä, pystyy se määrittämään palvelulle sopivan RLC-instanssin sen hetkisten radioverkon ominaisuuksien ja runkoverkolta saamiensa QoS-laatuparametrien (Quality of Service) perusteella. Mahdollisia RLC-instanssin tyyppejä ovat läpinäkyvä (TM, Transparent Mode), kuittaamaton (UM, Unacknowledged Mode) ja kuittaava RLC-instanssi (AM). RLC-instanssi on palvelukohtainen eikä sitä voi vaihtaa kesken palvelun eliniän. Kuva 2 esittää kolmen RLC-instanssityypin yhteydet ylempien protokollakerrosten ja MAC-protokollakerroksen loogisten kanavien välillä. TM- ja UM-instanssityypeillä tiedonsiirto ovat yksisuuntaista, jolloin kummallekin tiedonsiirtosuunnalle on oma instanssinsa. Eri tiedonsiirtosuuntien TM- tai UM-instanssien välillä ei ole kommunikaatiota toisin kuin AM-instanssityypillä. AM-instanssityyppi on kaksisuuntainen eli molempien tiedonsiirtosuuntien toiminnallisuus suoritetaan samassa instanssissa. [2]



Kuva 2: Radioverkon protokollarajapinnat

Kuvan 2 mukaisesti RLC-protokollan yläpuolisiin protokolleihin kuuluvat RRC-, PDCP-, BMC- ja runkoverkon (CN, Core Network) protokollat. Näiden ja RLC-protokollan välisessä rajapinnassa tiedonsiirto tapahtuu radiokanavissa. Riippuen datan tyyppistä radiokanavia voidaan käyttää joko datan kuljetukseen tai kontrollitiedon lähettämiseen eli signaalointiin. Esimerkiksi puhelupalvelussa välttämätön, päätelaitteen ja radio-

verkko-ohjaimen välille muodostettava, RRC-yhteys (Radio Resource Control) käyttää RLC-protokollan signalointiradiokanavien tarjoamia palveluita suorittaakseen RRC-tason signalointia. RRC-yhteyden luonnin yhteydessä neljä signalointiradiokanavaa käyttävää RLC-instanssia luodaan tiedonsiirtoon päätelaitteen kanssa. Näistä ensimmäinen on kuittaamaton RLC UM-instanssi ja kolme muuta on kuittaavia AM-instansseja. Nämä neljä instanssia siirtävät kaiken kontrollidatan radioverkko-ohjaimen ja päätelaitteen RRC-protokollien välillä. Myös osa runkoverkon ja päätelaitteen välisestä viestinnästä suoritetaan näitä signalointiradiokanavia pitkin, kuten esimerkiksi salaukseen liittyvät asetusviestit tai käyttäjien SMS-viestit.

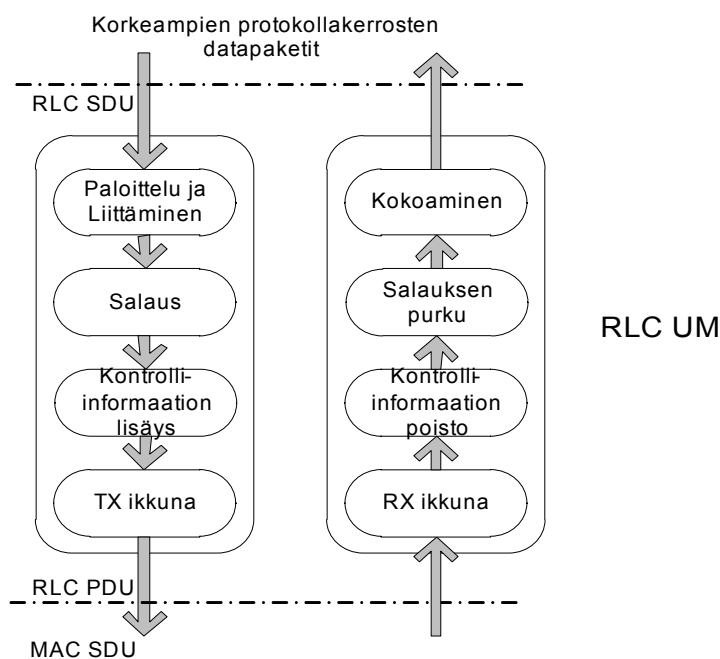
Vastaavasti käyttäjän dataa siirtävät PDCP- tai BMC-protokollat käyttävät radiokanavia tiedonsiirtoon radioverkko-ohjaimelta päätelaitteelle. Käyttäjän datalle kaikkia eri RLC-instansseja tarvitaan, jotta käyttäjälle voidaan tarjota erityyppisiä palveluita. Esimerkiksi puhe-palvelut käyttävät läpinäkyvää RLC TM -instanssityyppiä, suoratoisto-palvelut kuittaamatonta ja tiedostonsiirto-palvelut kuittaavaa RLC-instanssityyppiä. [1]

### **2.1.1 Läpinäkyvä RLC**

Läpinäkyvää RLC TM -instanssia käytetään pääosin signalointiradiokanavilla ja piirikytentäytyypisillä kanavilla siirtämään reaaliaikaista käyttäjän dataa radioverkossa. Reaaliaikadataa ovat esimerkiksi puhepalvelut tai videopuhelut. Läpinäkyvässä RLC TM -instanssissa RLC-protokolla on yksisuuntainen, eikä sillä ole toiminnallisuutta. RLC TM -instanssia käytetään kun RLC-protokollan ei haluta käytettävän vuonvalvontaa. Näin saadaan pienennettyä radioverkossa siirrettävän redundantin datan määrää koska RLC-datapaketin kontrollirakennetta ei tarvita. RLC-protokollakerrokselle saapunut data siirretään sellaisenaan seuraavalle protokollakerrokselle. Yleisesti RLC-protokollakerroksella suoritettava radioverkon salaus tehdään RLC TM -instanssia käytettäessä alapuolisella MAC-kerroksella (Medium Access Control), koska RLC-kerroksen toiminnallisuus halutaan minimoida. RLC TM -instanssin dataa siirretään vain DCH-kanavilla (Dedicated Channel), koska vain ne voivat käsitellä reaaliaikadataa, joiden resurssien tarvitsee olla muuttumattomia. [5]

## 2.1.2 Kuittaamaton RLC

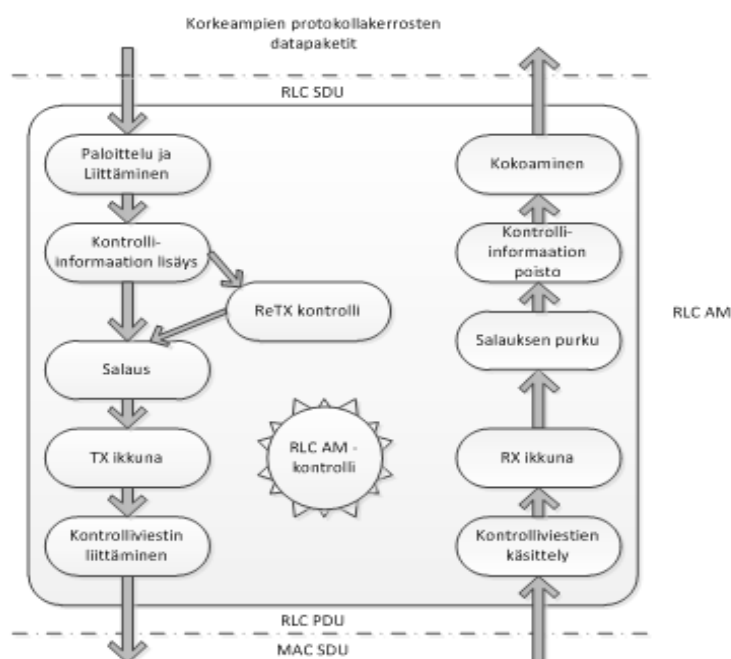
Kuittaamatonta RLC-instanssityyppiä (Unacknowledged mode, UM) käytetään viivekriittisten ja suurempaa luotettavuutta tarvitsevien sovellusten kanssa kuin mitä läpinäkyvä RLC-instanssityyppi tarjoaa. Esimerkkinä kuittaamattoman RLC-instanssin käyttökohteille ovat UDP-protokollaa (User Datagram Protocol) hyödyntävä videon striimaus, Voice-Over-IP (VoIP), Push-to-Talk ja osa radioverkon signaloinnista. Kuittaamaton RLC-instanssi tarjoaa palveluina duplikaattien poiston, mahdollisen datapakettien järjestämisen ja radioverkon salauksen. Uudelleenlähettämistä UM-instanssi ei suorita, koska se aiheuttaisi tarpeetonta viivettä tiedonsiirrossa. Kuittaamaton RLC-instanssi on suunniteltu parantamaan tiedonsiirron tehokkuutta radorajapinnassa ja siten antaa paremmat edellytykset sovellustason tiedonsiirto-protokollien, kuten VoIP, toimintaan. Kuvan 3 mukaisesti kuittaamattoman RLC-instanssin tiedonsiirrossa käytetään sekvenssinumeroihin perustuvaa lähetys- ja vastaanottoikkunaa. Liikkuvan ikkunan avulla tiedonsiirto saadaan järjestettyä ja lähettyä data peräkkäin sekä alemmille, että ylemmille protokollakerroksille. [5]



Kuva 3: RLC UM -instanssin toiminnallisuus

### 2.1.3 Kuittaava RLC

Kuittaavaa RLC-protokollan instanssityyppiä käytetään vaadittaessa luotettavaa palvelua esimerkiksi WWW-palvelun (World Wide Web) tai sähköpostin kanssa. Instanssi tarjoaa kaksisuuntaisen kommunikaation radioverkko-ohjaimen ja päätelaitteen RLC-instanssien välillä. Kuvan 4 mukaisesti paluukanavan avulla RLC AM -instanssi lähettää tilatietojaan lähettävälle RLC AM -instanssille ja näin voi pyytää esimerkiksi uudelleenlähetyksiä tai lähetyksenopeuden rajoittamista vuonhallinnan avulla. RLC AM -instanssin uudelleen-lähetysmekanismi toimii Automatic Repeat Request -tyyppisesti (ARQ) ja käyttää liukuvaa ikkunaa tiedonsiirtoon kuten Selective Repeat and Go-Back-N -protokollat. Tämän takia RLC AM -instanssi on luotettavin tiedonsiirtomuoto RLC-protokollaa käyttävistä palveluista. Muihin ARQ-protokolliin verrattuna RLC AM-instanssi ei palauta tietoa vastaanotetusta datapaketesta lähettäjälle jokaisen paketin jälkeen, vaan ne pitää pyytää erikseen herätteiden avulla. Koska aikaperustainen uudelleenlähetyks on RLC AM-instanssin vaihtoehtoinen asetusparametri, tekee se protokollan vankaksi radiolinkin edestakaisen viiveen vaihteluita vastaan, mutta samalla se voi aiheuttaa protokollan tiedonsiirron lukiutumisen. Tämän takia RLC AM -instanssi voi poistaa osittain lähettämänsä ylemmän protokollakerroksen datapaketin puskureistaan, mitä ei muiden ARQ-protokollien toimintoihin kuulu. Samalla saadaan matkapuhelin-järjestelmissä kriittistä viivettä hallittua paremmin luotettavuuden kustannuksella. Tiedonsiirron lisäksi kuittaavan RLC-instanssin toimintoihin kuuluvat kuittaamattoman RLC-instanssityypin tapaan datan paloittelu ja radioverkon salaus, mutta myös protokollatason virheiden välitys muille protokollakerroksille ja virheistä toipuminen. [5]



Kuva 4: RLC AM -instanssin toiminnallisuus

RLC AM -instanssia käytetään tiedonsiirtoon signalointi- ja pakettikanavilla sekä se voidaan asettaa käyttämään yhtä tai kahta loogista kanavaa viestien lähetykseen ja vastaanottoon. Pakettikanavien viestien lähetykseen voi käyttää kumpaakin kanavaa, mutta signalointikanavien kontrolliviestejä voi lähettää vain toisesta kanavasta. Kummallekin kanavalle on määrätty RLC-datapaketin eli RLC PDU:n (Payload Data Unit) koko, jota tiedonsiirrossa tulee noudattaa. RLC AM -instanssin sisäisen toiminta perustuu tiedonsiirtosuuntien väliseen kontrollointiin. Jokainen instanssin toiminto pystyy kommunikoimaan koko instanssia kontrolloivan elementin kanssa, jolloin toimintojen välisiä riippuvuussuhteita voidaan pitää yksinkertaisina. [8]

## 3 Kuittaavan RLC -instanssin toiminnot

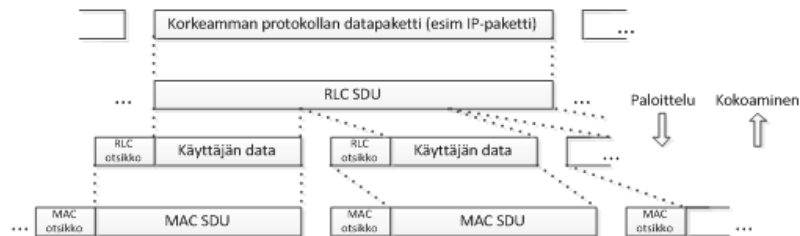
RLC AM -instanssin paluukanavaan liittyviä toimintoja lukuun ottamatta instanssin toiminnot ovat vastaavia läpinäkyvän ja kuittaamattoman RLC-instanssityyppien toimintojen kanssa. Koska kuittaava RLC-instanssi on kaksisuuntainen, on kuvan 4 mukaisesti eri suuntien välillä protokollan sisäistä kommunikaatiota. Kommunikaation avulla saadaan synkronoitua tehokas tiedonsiirto ja RLC-protokollatason virheiden korjaus.

### 3.1 Tiedonsiirto

RLC AM -protokolla olettaa, että tiedonsiirto tapahtuu kahden toisistaan riippuvaisen RLC AM -instanssin välillä. Kummallakin instanssilla on lähetyspää ja vastaanottopää ja instanssi voi toimia samanaikaisesti sekä lähettäjänä että vastaanottajana. Kummallakin tiedonsiirtosuunnalla on oma sekvenssinumerointi, jonka avulla datapaketit asetetaan lähetys- ja vastaanottoikkunoihin, koottua takaisin ylemmän protokollakerroksen datapaketiksi eli RLC SDU:iksi (Service Data Unit) sekä havaittua kadotetut datapaketit yksikäsitteisesti. Tämä sallii vuoropohjaisen tiedonsiirron, jossa instanssi esimerkiksi vastaanottaa RLC-datapaketin, prosessoi sen ja lähettää vastausanoman alkuperäisen datapaketin lähettäjälle sitä pyydettyä.

RLC AM -instanssin saadessa tiedon esimerkiksi PDCP-kerrokselta lähetettävästä datasta rakentaa instanssi MAC-kerrokselta saatujen radioverkon parametrien perusteella ennalta määrätyn koon mukaisia RLC PDU:ita. Aina RLC-instanssin lähettäessä dataa MAC-kerrokselle RLC-instanssi lisää viestiin sen hetkisen lähetyspuskurin tilan. Tämän tiedon perusteella alemmat protokollakerrokset tietävät kuinka paljon RLC-instanssilla on vielä dataa lähetettävissä. Vastaanottopään RLC-instanssi vastaanottaa RLC PDU:t MAC-kerroksen MAC SDU:ista ja asettaa ne vastaanottopuskuriin sekvenssinumeroinnin perusteella. Onnistuneesti vastaanotetuista RLC-datapaketeista kootaan RLC SDU:ita kuvan 5 mukaisesti, jotka sitten siirretään ylemmälle protokollakerrokselle RLC-sekvenssinumeroinnin osoittamassa järjestyksessä. Koska RLC AM -instanssilla voi olla samaan aikaan uudelleenlähetettävää dataa, protokollan sisäisiä

kontrollipaketteja ja uutta lähetettävää dataa, tarvitsee datapaketien lähetyksessä olla priorisointia. Suurimmalla prioriteetilla lähetetään kontrollipaketit, seuraavaksi uudelleenlähetettävät ja viimeisenä uudet datapaketit. Standardin mukaisen RLC AM -protokollatason tiedonsiirto on kuvattu vuokaaviona liitteessä A. [1],[2]



Kuva 5: Siirtoyhteyserroksen datapaketit tiedonsiirrossa

### 3.2 Virheiden käsittely ja toipuminen

RLC AM -protokolla voi virhetilanteissa käyttää uudelleenlustrutiinia, jossa kummankin suunnan sisäiset muuttujat asetetaan alkuarvoihinsa ja tiedonsiirto aloitetaan uudestaan seuraavasta ylemmän kerroksen datapaketista. Yleisin protokollan havaitsema virhetilanne voi tapahtua jos datapaketti ei ole onnistuneesti lähetetty vastapäälle ennalta määrätyn ajan tai uudelleenlähetyksen määrän aikana. Tämä voi johtua alempien protokollakerrosten ongelmista esimerkiksi ilmarajapinnan vaihteluiden takia tai RLC-protokollan sisäisten tilojen tai radioverkon salauksen synkronoimattomuudesta lähetykseen ja vastaanottoon instanssien välillä. Koska tavallisesti sovelluserroksen tiedonsiirtoprotokollat osaavat uudelleenlähettää alapuolisilla protokollakerroksilla kadonneet datapaketit, voidaan radioverkossa RLC-protokollakerroksen alapuolisissa protokollakerroksilla hyväksyä minimaalinen tiedon häviövyys. Jos uudelleenlustrutiinia ei pystytä onnistuneesti suorittamaan, ilmoittaa RLC-protokolla RRC-protokollalle kyvyttömyydestä uudelleenaloittamaan tiedonsiirtoa vastapään kanssa. Tämän seurauksena RRC-protokolla vapauttaa RLC-instanssin.

### 3.3 Identtisten datapaketien poisto

RLC-datapaketin otsikkotiedoissa olevan sekvenssinumeroinnin perusteella instanssi voi poistaa saapuneet paketit, jotka ovat jo vastaanottoikkunan kirjanpidon mukaan onnistuneesti vastaanotettu. Identtisiä datapaketteja voi saapua RLC-instanssille, jos esimerkiksi tiedonsiirto tapahtuu useamman tukiaseman solun kautta kättelyrutiinin avulla.

### **3.4 Järjestäminen**

RLC-protokolla järjestää sekvenssinumeroilla ylemmiltä protokollakerroksilta saadut datapaketit saapumisjärjestyksessä. Tämän järjestyksen avulla radioverkossa siirtyvä data saadaan vastaanottajalle samassa järjestyksessä mitä ne ovat lähettäjälle tulleet. Vastaanottaessa RLC-instanssi järjestää vastaanottoikkunan avulla RLC PDU:t sekvenssinumeroinnin mukaiseen järjestykseen ja muodostaa ylemmän protokollakerroksen datapaketin, RLC SDU:n kaikkien sitä koskevien RLC PDU:iden onnistuneen vastaanoton jälkeen. RLC SDU:t lähetetään vain järjestyksessä ylemmille protokollakerroksille, joten RLC-instanssin vastaanottopuskurissa valmiit RLC SDU:t voivat joutua odottamaan kunnes aikaisemmin lähetty RLC SDU valmistuu. RLC AM-instanssi voidaan asettaa myös olemaan noudattamatta järjestyksessä lähettämistä. Tämä tasoittaa ylemmille protokollakerroksille näkyvää tiedonsiirtoa huonolaatuisessa radiokanavassa, mutta soveltuu vain dataa puskuroiviin sovellustason palveluihin.

### **3.5 Tietovuon hallinta**

Mobiilissa päätelaitteessa tiedonsiirtoon käytettävän muistin määrän vähyys voi aiheuttaa tukoksia tiedonsiirtoon. Mahdollisia ongelmatilanteita varten RLC AM-protokollalla on mahdollista käyttää vuonhallintaa estämään datan häviäminen täyttyvien vastaanottopuskureiden takia. Vuonhallinnan avulla vastaanottopään RLC-instanssi voi kontrolloida tiedonsiirtoa lähetyspäässä. Koska lähetysikkuna määrittelee RLC-kerroksella suurimman mahdollisen nopeuden radiokanavalle, voidaan sitä rajoittamalla rajoittaa myös vastaanottopäähän tulevan datan määrää. Lähetysikkunan koko asetetaan RLC-instanssia luotaessa RRM-protokollan toimesta, mutta vastaanottava RLC-instanssi voi rajoittaa lähetettävän RLC-instanssin lähetysikkunaa kontrolli-viestillä. Vastaanottopuskureiden täyttyessä tiedonsiirtoa voidaan väliaikaisesti hiljentää ja saada vastaanottopuskurit tyhjennettyä.

### **3.6 Virheenkorjaus**

Vastaanottavan RLC-instanssin vastaanottaessa pyynnön lähettää tiedonsiirron tilaraportti lähettävälle RLC-instanssille, tarkistaa se vastaanottopuskureissaan olevat datapaketit. Jos instanssi havaitsee sekvenssinumeron, jonka osoittamaa datapakettia ei



ole vastaanotettu oikein tai sitä ei ole vastaanotettu lainkaan, lähettää se kyseisen datapakettin uudelleenlähetyspyynnön vastapäälle. Jos vastapää toimii vastoin odotuksia, voi protokolla jatkaa virheiden käsittelyä uudelleenalustusrutiinilla.

### **3.7 Kokoaminen**

Kaikkien samaa RLC SDU:ta koskevien RLC datapakettien vastaanottamisen jälkeen RLC-instanssi kokoaa RLC SDU:n liittämällä RLC-datapakettien datakentät yhteen sekvenssinumeroiden osoittamassa järjestyksessä. Yksi RLC-datapaketti voi sisältää yhden tai useamman RLC SDU:n dataa, joten RLC SDU:iden vaihtumisrajat ilmoitetaan jokaisessa niitä sisältävässä RLC-datapaketissa.

### **3.8 Paloittelu**

Paloittelu suoritetaan RLC-instanssille saapuneelle RLC SDU:lle jos sen koko ylittää seuraavaksi lähetettävän RLC-datapakettin datakentän koon. RLC-datapakettien koko ja paloittelutapa riippuu RLC-instanssista ja sen asetusparametreista. Koska RLC-instanssin lähetysikkunan koko on 3GPP release99 standarding mukaan ennalta määrätty, voidaan kerralla paloitella vain lähetysikkunassa vapaana oleva määrän RLC-datapaketteja.

### **3.9 Ketjuttaminen**

Usean RLC SDU:n tai niiden segmenttien ketjuttaminen samaan RLC-datapakettiin pienentää radorajapinnassa lähetettävän redundantin datan määrää, koska ennalta määrätyn kokoiset RLC-datapaketit saadaan täytettyä tehokkaammin. Ketjuttamista voi käyttää jos se on sallittu instanssin asetusparametreissa ja RLC-datapaketissa on tarpeeksi tilaa edellisen RLC SDU:n viimeisen datasegmentin ja sen loppua ilmoittavan LI-kentän (Length Indicator) koon kanssa. Ketjuttamista käytettäessä RLC-datapakettin otsikkotietoihin lisätään yksi LI-kenttä jokaista datapakettin dataosuudessa olevaa RLC SDU:n viimeistä datasegmenttiä kohden.

### **3.10 Datapaketin täyttö**

RLC-datapaketin rakentamisessa RLC SDU:n loppuminen tai kontrolliviesti voi aiheuttaa vajaamittaisia RLC PDU:ita. Koska RLC PDU:n koko on asetusparametreissa määrätty, täytetään datapaketin ylimääräinen tila redundantilla informaatiolla. Vastaanottopäässä täytteen alkaminen havaitaan datapaketin otsikkokentässä olevasta erikoisotsikkokentästä ja LI-kentän arvosta. Ketjuttamista käytettäessä täytettä tarvitaan vain viimeisessä RLC-instanssin puskurissa olevan RLC SDU:n tai pienikokoisen kontrolliviestien rakennuksessa.

### **3.11 Salaus**

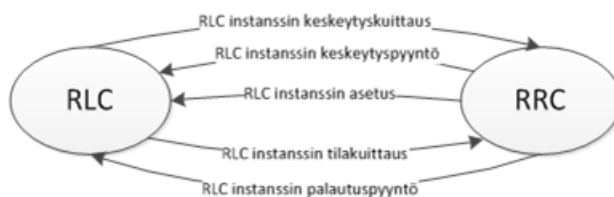
Tiedonsiirto salataan radioverkossa RLC-protokollakerroksella, koska esimerkiksi kontrolliviestejä ei tarvitse salata. Samalla estetään salauksen vaikutus RLC-instanssien välisen synkronoinnin onnistumiseen. RRC-protokolla suorittaa salauksen asettamisen radioverkko-ohjaimen ja päätelaitteen välillä RRC-signaloinnilla ja ilmoittaa käytettäväksi tulevat salausavaimet jokaiselle RLC-instanssille erikseen. Kun päätelaite on ilmoittanut hyväksyvänsä salauksen, aloittaa RLC-instanssi datapakettien salauksen. RLC-datapaketista salataan vain hyötydata, eli otsikkokentän kahta ensimmäistä oktetia ei salata lainkaan.

## 4 RLC AM -protokollan rajapinnat

Kuittaavaa RLC AM -instanssia voidaan käyttää sekä päätelaitteen ja radioverkko-ohjaimen välisen RRC-yhteyden että päätelaitteen ja runkoverkon välisen kontrolli-informaation lähettämiseen tai käyttäjätason tiedonsiirtoon. Kummassakin tapauksessa RLC AM -instanssin alapuolella käytetään MAC-protokollakerrosta, jonka toteutus riippuu RRC-yhteyden tilasta. Vastaavasti RLC-protokollakerroksen yläpuolinen protokollakerros riippuu liikenteen tyypistä. RRC-yhteyteen liittyvä signaaliointi ja päätelaitteen ja runkoverkon välillä kulkevat NAS-viestit (Non-Access Stratum) käyttävät signaaliointiradiokanavia ja käyttäjätason tiedonsiirto radiokanavia esimerkiksi PDCP-protokollakerroksen kautta. Tämä luku perustuu 3GPP:n standardin Release7-määritelmiin eri protokollakerroksilla. [2]

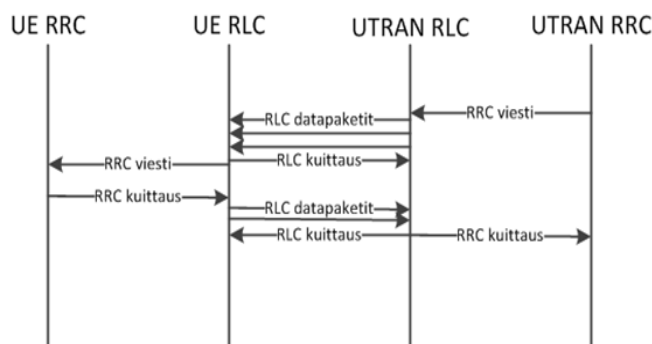
### 4.1 RRC- ja RLC-protokollien välinen rajapinta

RRC-protokollaa käytetään radioverkossa kontrolloimaan radioverkon sisäistä toimintaa ja yhteyksiä päätelaitteen, radioverkon ja runkoverkon välillä. Protokolla toteuttaa esimerkiksi tiedonsiirtoon tarvittavien PDCP-, RLC-, MAC- ja fyysisen kerroksen toimintatavat radioverkossa sekä päätelaitteessa. Samoin se suorittaa kaikki muutokset alempien protokollakerrosten toiminnassa, eli mahdolliset tiedonsiirron keskeytykset tai uudelleenasetukset RLC-instanssilla tapahtuvat RRC-protokollan toimesta kuvan 6 mukaisesti. Koska RRC-protokolla suorittaa kummankin RLC-instanssin asettamisen, tarvitsee RRC-protokollatasolla olla tarkka synkronointi päätelaitteen ja radioverkko-ohjaimen välillä. Tarkan ajoituksen ansiosta tiedonsiirtoon vaikuttavat uudelleenasetukset saadaan suoritettua mahdollisimman pienellä viiveellä.



Kuva 6: RLC- ja RRC-protokollien välinen rajapinta

RRC-protokollatason signalointia siirretään RLC-protokollakerroksella signalointiradiokanavia pitkin. Signalointiradiokanaville RLC AM -instanssin asetusparametrit määritetään niin, että kaikki päätelaitetyypit pystyvät kommunikoimaan radioverkon kanssa. Vastaavasti käyttäjätason datan siirtoon tarkoitettujen RLC AM -instanssien parametrejä voidaan muuttaa päätelaitteen, radioverkon ominaisuuksien tai halutun palvelun mukaisesti. Näin saadaan tiedonsiirron tehokkuutta kasvatettua. Kuvassa 7 kuvataan RRC-protokollatason tiedonsiirtoa RLC AM -instanssin näkökulmasta. Kuvan RRC-viesti voi olla esimerkiksi radioverkon uudelleenasetusviesti tai runkoverkolta saapuva NAS-viesti. RRC-viestin vastaanottaessaan RLC-protokolla paloittelee sen signalointiradiokanavalle sopivankokoisiksi datapaketeiksi ja lähettää ne päätelaitteelle. Päätelaitteen RLC AM -instanssi kuittaa vastaanotetut datapaketit lähettävälle RLC-instanssille ja lähettää datapaketeista kootun RRC-viestin päätelaitteen RRC-protokollakerrokselle. Jos päätelaitteen RRC-protokolla lähettää kuittauksen RRC-viestiin, siirretään se päätelaitteen RLC-kerrokselle joka siirtää sen radioverkko-ohjaimelle. Radioverkko-ohjaimen RLC AM -instanssi lähettää kuittauksen päätelaitteelle jos se on saanut kaikki RLC-datapaketit vastaanotettua. Lopuksi radioverkko-ohjaimen RLC AM -instanssi lähettää kootun RRC-kuittauksen RRC-protokolla-kerrokselle. RLC-protokollakerroksen kuittausten ja korkeampien protokollakerrosten datapakettien paloittelemisen takia radioverkon läpi siirrettävän datan määrä lisääntyy kuvan 7 mukaisesti. Erityisesti RLC-protokollatason kontrolliviestit kuten kuittaukset lisäävät siirrettävän datan määrää, koska datapakettien koko on ennalta määrätty.



*Kuva 7: RRC-viestin välitys päätelaitteelle*

## 4.2 PDCP- ja RLC-protokollien välinen rajapinta

Käyttäjätason tiedonsiirrossa RLC-protokolla tarjoaa tiedonsiirtopalvelun PDCP-protokollan (Packet Data Convergence Protocol) käyttöön. PDCP-protokollakerrosta käytetään kuljettamaan käyttäjätason dataa pakettikytkentäisessä verkossa tarjoamalla palvelut siirtämään radioverkon ulkopuolelta vastaanotetut GTP-datapaketit (GPRS

Tunneling Protocol) siirtoyhteyskerroksen palveluiden avulla päätelaitteelle. Saadessaan GTP-datapaketin runkoverkolta, PDCP-kerros ilmoittaa kuvan 8 mukaisesti RLC AM -instanssille radioverkon yli lähetettävissä olevan datan määrän Dataindikaattori-viestillä. Näin RLC AM -instanssi tietää koska ja kuinka paljon se pystyy dataa lähettämään. Vastaavasti Datan kuittaus -viestillä RLC AM -instanssi ilmoittaa PDCP-protokollalle uuden RLC SDU:n valmistumisesta ja lähettamisestä PDCP:lle. Samalla viestillä voidaan ilmoittaa myös vastaanottopään poistamasta RLC SDU:sta esimerkiksi RLC AM -instanssin uudelleenalustuksen yhteydessä. Datan kuittaus -viestiä käytetään ilmoittamaan PDCP-kerrokselle onnistuneesti vastaanotetusta tai lähetyspäässä poistetusta RLC SDU:sta. [7]



*Kuva 8: Rajapinta RLC:n ja RLC:n yläpuolisen tiedonsiirtoprotokollan välillä*

### 4.3 MAC- ja RLC-protokollien välinen rajapinta

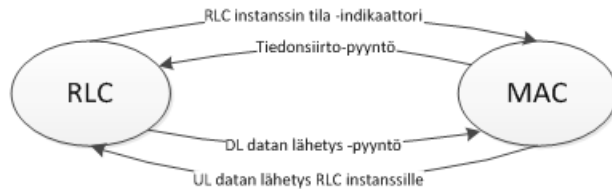
Tiedonsiirto MAC-protokollakerroksella tapahtuu loogisten kanavien kautta. MAC-protokolla muuttaa RLC-protokollan radiokanavilla siirtyvät RLC PDU:t MAC-tason MAC PDU:iksi. Loogisen kanavan tyyppi riippuu päätelaitteen ja radioverkon välisen RRC-yhteyden tilasta ja tiedonsiirron tyypistä. RLC AM -instanssi voi käyttää tiedonsiirtoon ainoastaan dedikoitua kontrollikanavaa (Dedicated Control Channel, DCCH), dedikoitua tiedonsiirtokanavaa (Dedicated Traffic Channel, DTCH) tai suurinopeuksista alalinkin jaettua tiedonsiirtokanavaa (High-Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH). Näillä tiedonsiirtokanavilla voidaan siirtää sekä signaali-, että käyttäjätason dataa. Radioverkon tiedonsiirtonopeus päätetään MAC-protokollan mukaisesti, joka päättää datan jaksotuksen siirtokanavan sen hetkisten ominaisuuksien ja RLC-kerrokselta tulevan tilaraportin mukaan. MAC- ja RLC-protokollien rajapinnassa välitetään informaatiota sen hetkisestä siirtokanavan tilasta ja siksi esimerkiksi lähetettävän datan määrä voi muuttua lyhyinkin väliajoin.

Kuvan 9 mukaisesti Tiedonsiirto-pyynnöllä RLC-protokollalle ilmoitetaan kyseisen loogisen kanavan tiedonsiirtonopeus, minkä perusteella RLC AM -instanssi voi siirtää dataa MAC-kerrokselle. Siirtonopeus välitetään RLC-instanssin mukaisen datapaketin koon ja niiden määrän perusteella. Samoin MAC-kerros voi kertoa onko edelliset lähetykset pystytyt lähettämään onnistuneesti fyysiselle kerrokselle.

RLC instanssin tila -indikaattorilla RLC-protokolla kuittaa tiedonsiirto-pyyntön ja mahdollisesti ilmoittaa RLC-instanssin tai sen hetkisen lähetyspuskurin tilan. Indikaattoria voidaan käyttää kun dataa ei ole lähetettävissä tai kanava on keskeytetty RRC-protokollan toimesta.

UL datan lähetys -määreellä MAC-protokolla ilmoittaa RLC:lle vastaanottaneensa tietyn määrän RLC PDU:ita. Samoin ilmoitetaan jos alemmilla kerroksilla on havaittu virhe. [6]

DL datan lähetys -määreellä RLC instanssi ilmoittaa MAC-kerrokselle lähettävänsä tietyn määrän RLC PDU:ita lähetettäväksi alalinkin suuntaan. Samalla RLC voi ilmoittaa sen hetkisen lähetyspuskurin ja instanssin tilan seuraavia lähetyksertoja varten.



*Kuva 9: RLC- ja MAC- protokollakerrosten välinen rajapinta*

#### **4.4 RLC-instanssien välinen rajapinta**

Kuittaavan RLC AM -protokollan kommunikoi vastaanottavan RLC AM -instanssin kanssa kaksisuuntaisesti. Tätä tarkoitusta varten protokollalla on kontrollointimekanismi, jonka avulla tiedonsiirron yhteydessä voidaan instanssien välistä toimintaa säädellä. Esimerkiksi RLC AM -instanssin uudelleenlähetyksessä, datapakettien uudelleenlähetyksessä tai ylemmän kerroksen datapaketin poiston yhteydessä instanssit keskustelevat keskenään kontrolliviesteillä. Nämä kontrolliviestit kuuluvat RLC-protokollatason tiedonsiirtoon, jolloin muut protokollakerrokset eivät kontrolliviestejä tunnista. Alemmille protokollakerroksille kuten myös tukiasemalle kontrolliviestit näkyvät hyötydatana, joten viestit lisäävät loppukäyttäjälle redundanttia datamäärää radioverkossa. [9]

## 5 RLC AM -instanssin sisäinen rakenne

Tyypillisesti tietoliikenneprotokollien sisäiseen toteutukseen kuuluvat tilakone ja protokollan sisäiset muuttujat. RLC-protokollan eri instanssityypeillä tilakoneen tilojen määrä ja niiden välinen toiminta riippuu instanssityypin vaatimuksista. Yksinkertaisimmillaan protokolla ei vaadi tilakoneelta useata tilaa tai monia sisäisiä muuttujia sekä ajastimia, mutta kuittaavassa RLC-instanssissa vastapäiden välinen toiminta vaatii useita tilakoneen tiloja sekä sisäisiä muuttujia ja ajastimia standardin mukaiseen toimintaan.

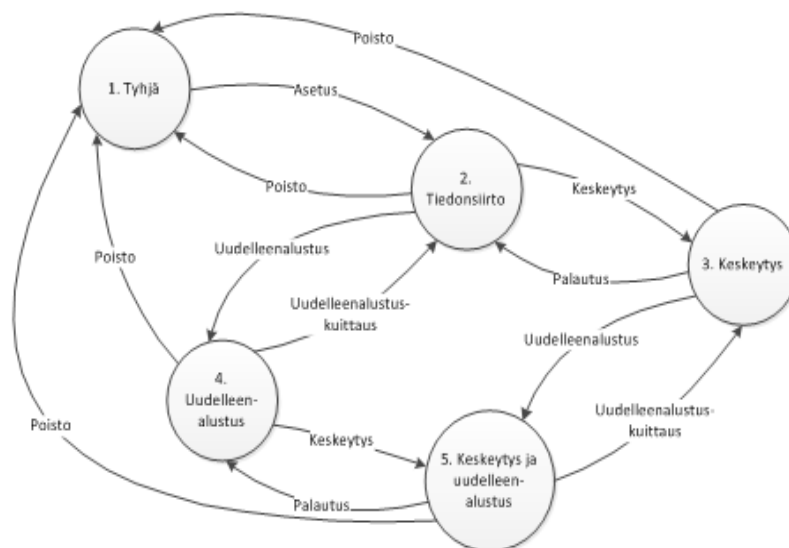
### 5.1 Protokollan tilakone

RLC AM -instanssilla on kuvan 10 mukaisesti viisi tilaa. Tilojen välillä siirrytään RLC-protokollaa ohjaavan RRC-protokollan tai vastapäin RLC AM -instanssin lähettämien herätteiden mukaan. Osa RRC-protokollan herätteistä lähetetään RRC-tason viesteillä myös vastapäin RLC-protokollalle, jolloin RLC-protokollatason synkronointi saadaan toteutettua. Protokollan toiminta aloitetaan aina Tyhjä-tilasta. Tässä tilassa protokollan AM-instanssi on aloitustilassa ilman asetusparametrejä, eikä tilassa sen takia voida suorittaa tiedonsiirtoa. RRC-protokolla määrittelee RLC-protokollan AM-instanssille asetusparametrit ja instanssi asetetaan Tiedonsiirto-tilaan. Tiedonsiirto-tilassa instanssi voi kommunikoida vastaanottajan kanssa vain jos se on samassa tilassa. Tiedonsiirto-tilaa käytetään kunnes heräte ylemmiltä protokollakerroksilta siirtää AM-instanssin seuraavaan tilaan. Vastaanottajan lähettäessä uudelleenasetuspyynnön eli RESET-kontrolliviestin, asettaa AM-instanssi kaikki sisäiset muuttujat alkuarvoihinsa ja siirtyy Uudelleenaloitus-tilaan. Uudelleenasetuspyynnön kuittauksen saatessaan AM-instanssi siirtyy takaisin Tiedonsiirto-tilaan jatkaa tiedonsiirtoa normaalisti alkuasetusarvoista.

Sisäisen virheen tai RLC-protokollatason synkronoinnin puutteen takia RRC-protokolla voi käskä tiedonsiirtotilassa olevan RLC AM -instanssin odottamaan uudelleenaloitusta Uudelleenaloitus-tilaan. Tällöin lähetetään uudelleenaloituspyyntö vastapäin RLC AM -instanssille RESET-kontrolliviestillä. Jos instanssi vastaanottaa RESET ACK -uudelleenaloituspyynnön kuittaus -viestin, palaa instanssi Tiedonsiirto-tilaan ja aloittaa tiedonsiirron aloitusparametrien mukaan. Uudelleenaloitus-tilassa tiedonsiirto ei ole

mahdollista, alalinkin suuntaan tiedonsiirto keskeytetään ja ylälinkin suuntaan saapuva data hylätään. RRC-protokollan toiminnan mukaisesti Uudelleen-aloitus-tilassa AM-instanssi voidaan poistaa ja palata Tyhjä-tilaan tai keskeyttää tiedonsiirto väliaikaisesti keskeytysviestillä. Tiedonsiirto- tai Uudelleenaloitus-tilassa RRC-protokolla voi keskeyttää toiminnan keskeytysviestillä. Uudelleenaloitus-tilassa siirrytään Keskeytettyyn uudelleenaloitus -tilaan, jossa instanssi odottaa vastausta vastapään RLC AM -instanssilta tai herätettä RRC-protokollalta, eikä tiedonsiirto ole mahdollista. RRC-protokollan herätteen perusteella instanssi voidaan poistaa ja siirtyä Tyhjä-tilaan. Jos instanssi vastaanottaa RESET ACK -kontrolliviestin, niin instanssi uudelleenaloitetaan aloitusparametrien mukaan ja siirrytään Keskeytys-tilaan.

Tiedonsiirto- tai Keskeytys ja uudelleenaloitus -tilassa voidaan siirtyä Keskeytys-tilaan RRC-protokollan herätteellä. Keskeytetyks-tilassa instanssin sisäiset muuttujat ja ajastimet toimivat normaalisti, mutta tiedonsiirtoa ei sallita. Jatkamis-käskyllä Keskeytys-tilasta siirrytään Tiedonsiirto-tilaan, jossa tiedonsiirtoa jatketaan normaalisti käyttäen vanhoja instanssin sisäisiä parametrejä. [2]



Kuva 10: RLC AM -instanssin tilakone

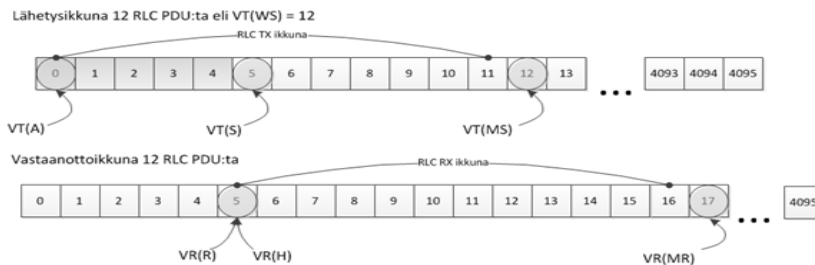
## 5.2 Protokollan sisäiset muuttujat

RLC AM -protokollan kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon vaaditaan synkronointia instanssien välillä. Synkronoinnin avulla protokollan instanssit määrittelevät sisäiset tilat ja muuttujat joko RRC-protokollan toimesta instanssin luomisessa ja uudelleenasettamisessa tai vastakkaisen instanssin lähettämällä kontrolliviesteillä. Tiedonsiirron



aikana instanssi kontrolloi sisäisiä muuttujia eikä synkronointia RRC-protokollalta tarvita. Vastakkaisen instanssin lähettämiin kontrolliviesteihin instanssi reagoi joko päivittämällä sisäisiä muuttujia tai vastaamalla sisäisten muuttujien mukaisesti vastapään instanssille.

RLC AM -protokollan sisäiset muuttujat perustuvat lähetys- ja vastaanottoikkunoihin, jotka sisältävät tiedot sen hetkisestä tiedonsiirrosta. Jokainen lähetysikkunan alkio kuvaa jokaista vastapään instanssille lähetettävän RLC PDU:n sekvenssinumeroa ja vastaavasti jokainen vastaanottoikkunan alkio kuvaa jokaista vastaanotettavan RLC PDU:n sekvenssinumeroa. Ikkunoiden kaikissa alkioissa ei tarvitse olla datapaketteja vaan niitä lisätään ja poistetaan tiedonsiirron hallinnan kautta. Protokollan sisäiset muuttujat kuvaavat joko lähetys- tai vastaanottoikkunan elementtiä tai elementtiin liitettyä datapakettia ja sen ominaisuuksia.[2]



Kuva 11: RLC AM -instanssin lähetys- ja vastaanottoikkunat

### 5.2.1 VT(S) eli lähetys-tilamuuttuja

Kuittaavan RLC AM -instanssin tiedonsiirron etenemistä kuvaavaa lähetys-tilamuuttujaa VT(S) käytetään kuvan 11 mukaisesti esittämään seuraavaksi lähetettävän RLC PDU:n sekvenssinumeroa. Datapaketit lähetään numerojärjestyksessä ja lähetys-tilamuuttujaa päivitetään aina datapaketin lähdettyä. VT(S) arvo alkaa aina nolasta. Jos RLC instanssi uudelleenperustetaan tai -synkronoidaan uudelleenalustusrutiinilla, alustetaan VT(S) nolaksi jotta synkronointi vastapään AM-instanssin kanssa onnistuu. Lähetys-tilamuuttujan sen hetkistä arvoa ei muuteta jos RLC-instanssin parametrejä uudelleenalustetaan paitsi jos RLC PDU:n kokoa muutetaan. Koska lähetysikkuna on äärellisen mittainen, pyörähtää VT(S) arvo nolaa kun viimeisen lähetysikkunan alkion sisältämä datapaketti on lähetetty.

### 5.2.2 VT(A) eli kuittaus-tilamuuttuja

Kaksisuuntaisessa kuittaavassa tiedonsiirrossa kuittaus-tilamuuttuja VT(A) ilmoittaa ensimmäisen datapakettin sekvenssinumeron, jota vastapään RLC AM -instanssi ei ole kuitannut. Muuttujaa päivitetään kun lähetävä RLC AM -instanssi vastaanottaa VT(A):n sisältävän kuittaus- tai RX-ikkunan siirron kuittaus -kontrolliviestin vastapään AM-instanssilta. VT(A) arvo antaa pienimmän sen hetkessä tiedonsiirrossa mukana olevan sekvenssinumeron arvon jolloin aikaisemmalla sekvenssinumerolla lähetetyt datapaketit voidaan poistaa RLC-instanssin lähetyssikkunan tiedoista. Kuittaus-tilamuuttujan arvo alustetaan ja muutetaan kuten lähetystilamuuttujaa uudelleenperustettaessa, uudelleenalustusrutiinin yhteydessä tai parametrien uudelleenalustuksessa.

### 5.2.3 VT(DAT) eli lähetyskerta-tilamuuttuja

Mobiilissa tietoliikenteessä radiorajapinnan vaihtelut aiheuttavat datapakettien katoamisia. Luotettavuuden aikaansaamiseksi kuittaavassa RLC-instanssissa voidaan sama datapaketti lähettää uudestaan. Lähetyskerta-tilamuuttuja VT(DAT) laskee tietyn RLC PDU:n lähetyss- ja uudelleenlähetysskertoja. Jokaiselle lähetyssikkunassa olevalle datapakettille on oma laskurinsa ja sitä kasvatetaan yhdellä aina datapakettin lähettämisen yhteydessä. Samalle datapakettille laskuria ei milloinkaan uudelleenalusteta vaan laskuri nollataan kun datapaketti on saatu onnistuneesti lähetettyä ja kuittaus-tilamuuttuja on ohittanut kyseisen datapakettin sekvenssinumeron.

### 5.2.4 VT(WS) eli lähetyssikkuna-tilamuuttuja

TCP-protokollan (Transmission Control Protocol) tavoin RLC-protokollassa käytetään lähetyssikkunaa tiedonsiirron kontrollointiin [10]. Lähetyssikkunan koko eli lähetyssikkuna-tilamuuttuja VT(WS) määrittelee suurimman arvon samanaikaisesti tiedonsiirrossa olevien datapakettien määrälle. Käytännössä lähetyssikkunan koko määrittelee myös suurimman mahdollisen tiedonsiirtonopeuden kyseiselle instanssille. Tilamuuttuja alustetaan instanssin alustusparametrien mukaisesti, mutta vastaanottava RLC-instanssi voi muuttaa lähetävän RLC-instanssin lähetyssikkunan kokoa kontrolliviestillä. Tämän avulla esimerkiksi päätelaite voi rajoittaa tiedonsiirtonopeutta tukostilanteissa tai

vähentää muistinkulutusta. Muuttuja alustetaan alkuarvoonsa RLC PDU:n koon muuttuessa ja uudelleenalustusrutiinin yhteydessä.

### **5.2.5 VT(MS) eli suurin lähetys -tilamuuttuja**

RLC-protokollan lähetysikkunan koko määrittelee suurimman ja pienimmän sekvenssinumeron, jotka voivat osallistua samanaikaisesti tiedonsiirtoon. Suurin lähetys -tilamuuttuja VT(MS) ilmaisee ensimmäisen RLC PDU:n sekvenssinumeron jota ei voi lähettää kyseisellä VT(S)-tilamuuttujan arvolla. Näin ollen VT(MS)-tilamuuttujan arvo on aina lähetysikkuna-tilamuuttujan arvon etäisyydellä kuittaus-tilamuuttujasta. Tilamuuttujaa päivitetään aina VT(A)-tilamuuttujan päivityksen yhteydessä tai VT(WS)-tilamuuttujan muutoksen yhteydessä.

### **5.2.6 VT(PDU) eli PDU-kohtainen tilaraportin pyyntö -tilamuuttuja**

Kuittaava RLC-instanssi tarvitsee mekanismin kuittauksien kontrollointiin, jolloin vältytään tiedonsiirron lukkiutumistilanteilta. RLC AM -instanssikohtaista datapaketti-perustaista tilaraportin pyyntö -tilamuuttujaa VT(PDU) käytetään kun datapaketti-kohtainen tilaraportin pyyntömekanismi on asetusparametreissä asetettu toiminnalliseksi. Tilamuuttujaa kasvatetaan aina kun datapaketti on lähetetty riippumatta siitä kuinka mones lähetyskertaa se datapakettille on. Tilamuuttujan arvon tullessa yhtäsuureksi kuin asetusparametrissä ilmoitettu arvo, asetetaan tilaraportin pyyntö ja tilamuuttuja alustetaan nolaksi. Datapakettikohtainen tilaraportin pyyntö -mekanismia käytettäessä kontrolliviesteistä aiheutuvan redundantin datan määrä pysyy vähäisenä, mutta ilman muita tilaraportin pyyntö -mekanismeja se voi aiheuttaa tiedonsiirron lukkiutumisen. Tilaraportin pyyntö -mekanismeihin liittyvät tilamuuttujat uudelleenalustetaan uudelleenalustusrutiinin yhteydessä, instanssin uudelleen-perustuksessa ja RLC PDU:n koon muuttuessa.

### **5.2.7 VT(SDU) eli SDU-kohtainen tilaraportin pyyntö -tilamuuttuja**

RLC SDU:n tilaraportin pyyntö -tilamuuttujaa VT(SDU) käytetään kun se on asetusparametreissa asetettu toiminnalliseksi. Tilamuuttujaa kasvatetaan aina kun RLC SDU:sta segmentoiduista datapaketeista ensimmäinen lähetetään ensimmäistä kertaa. RLC AM -instanssin asetusparametreissa ilmoitetaan lähetettävien SDU:iden lukumäärän ennen kuin tilaraportin pyyntö -mekanismi suoritetaan. SDU-kohtainen tilaraportin pyyntö ei sisällä tarkastelua uudelleenlähetyksistä, joten se käsittelee tiedonsiirtoa ylempien protokollakerrosten näkökulmasta. Pyyntömekanismi ottaa datapakettipohjaista tilaraportin pyyntö -mekanismeja paremmin huomioon SDU:iden mahdolliset kokoerot ja näin sopii paremmin pusrkeiseen tiedonsiirtoon.

### **5.2.8 VT(RST) eli uudelleenalustus-tilamuuttuja**

Tiedonsiirrossa tapahtuvien ongelmien, kuten yhteyden häviämisen, takia RLC-protokolla tarvitsee keinon havaita ongelma ja toipua siitä. Liian usean epäonnistuneen RLC PDU:n uudelleenlähetyskerran jälkeen AM-instanssi aloittaa uudelleenalustusrutiinin, jossa datan lähettäjä aloittaa datan siirron sijaan lähettämään RESET-kontrolliviestejä. VT(RST) uudelleenalustus -tilamuuttuja päivittää lähetettyjen RESET-kontrolliviestien lukumäärää saman uudelleenalustusrutiinin aikana. Tilamuuttuja uudelleenalustetaan kun RESET ACK-kontrolliviesti on vastaanotettu. Jos VT(RST)-tilamuuttujan arvo saavuttaa asetusparametreissa annetun suurimman RESET-kontrolliviestien lähetysmäärä, lähettää RLC-instanssi RRC-protokollalle viestin synkronoinnin epäonnistumisesta.

### **5.2.9 VT(MRW) eli vastaanottoikkunan siirto -tilamuuttuja**

Vastaanottoikkunan siirto -tilamuuttujaa ylläpidetään MRW-kontrolliviestien (Move Receive Window) lukumäärän laskemisen takia. VT(MRW)-tilamuuttujaa päivitetään joka kerta kun MRW-ajastin laukeaa. VT(MRW) uudelleenalustetaan kun SDU:n poistoproseduuri lopetetaan onnistuneesti.

### **5.2.10 VR(R) eli vastaanotto-tilamuuttuja**

Vastaanottava RLC AM -instanssi sijoittaa radioverkon läpi siirtyneet datapaketit sekvenssinumeroiden perusteella vastaanottoikkunaan. Vastaanotto-tilamuuttuja VR(R) ilmoittaa ensimmäisen sekvenssinumeron, jonka vastaanottoikkunan alkiosta ei löydy datapakettia. Tilamuuttujaa päivitetään aina kun tilamuuttujaa vastaava datapaketti on onnistuneesti vastaanotettu. MRW-kontrolliviestillä voidaan siirtää VR(R)-tilamuuttujan arvoa ja RLC AM -instanssin uudelleenperustamisessa sekä uudelleenalustusrutiinin jälkeen tilamuuttuja asetetaan alkuarvoon.

### **5.2.11 VR(MR) eli vastaanottoikkuna-tilamuuttuja**

RLC AM -instanssien tietyn tiedonsiirtosuunnan lähetys- ja vastaanottoikkunoiden pitää olla samankokoisia, jotta vastaanotettuja datapaketteja ei poistettaisi vastaanottoikkunan täyttymisen takia. Vastaanottoikkuna-tilamuuttuja VR(MR) pitää yllä vastaanotettavan datapaketin pienimmän sekvenssinumeron arvon, jonka vastaanottaja hylkää vastaanottoikkunan täyttymisen takia. Näin ollen VR(MR)-tilamuuttujan arvo on alustusparametrien mukaisen vastaanottoikkunan pituuden verran etäisyydellä vastaanotto-tilamuuttujasta.

### **5.2.12 VR(H) eli korkein odotettu datapaketti-tilamuuttuja**

Vastaanottajan saadessa lähettäjältä tilaraporttipyyynnön tarvitsee sen tarkistaa vastaanottoikkunan elementit läpi ja ilmoittaa mahdollisista puuttuvista datapaketeista sekä niitä edeltävästä onnistuneesti vastaanotetusta datapaketista. Korkein odotettu datapaketti -tilamuuttuja päivittää suurimman vastaanotetun datapaketin sekvenssinumeron seuraavaa arvoa. Tilamuuttujan avulla saadaan ilmoitettua kuittaustiedot lähettävälle RLC AM -instanssille ja havaittua, jos VR(H)-tilamuuttujan arvo lähenee VR(MR)-tilamuuttujan arvoa. Tällöin vastaanottoikkuna on täyttymässä ja instanssi voi pyytää lähettävää RLC-instanssia rajoittamaan lähetysikkunan kokoa.

### **5.3 Protokollan ajastimet**

RLC AM -protokollan toimintaan liittyy ajastimia, joiden avulla esimerkiksi tilaraportin pyyntö- ja ajastukseen perustuva RLC SDU:n poisto -mekanismi toimivat. Ajastimet ovat aktiivisia siitä hetkestä kun ne käynnistetään siihen saakka kunnes ne pysäytetään instanssin uudelleenasettamisessa tai poistossa tai ne laukeavat. Ajastimen perusteella luodaan heräte esimerkiksi tilaraportin pyyntö -mekanismin aloittamiseen. Ajastimien käyttö ja niihin liittyvät aktivoitumisajat kontrolloidaan RRC-protokollan toimesta.

#### **5.3.1 Tilaraportin pyyntö -ajastin**

Aikaan kohdistuva tilaraportin pyyntö -mekanismi poistaa tiedonsiirron mahdollisuuden lukkiutumiseen. Ajastin aktivoidaan kun tilaraportin pyyntö -heräte on suoritettu jonkun muun tilaraportin pyyntö -mekanismin takia. Ajastin pysäytetään jos tilaraportin herätteen perusteella vaadittu tilaraportti on vastaanotettu ja se sisältää positiivisen tai negatiivisen kuittausviestin lähettyihin datapaketteihin. Jos vaadittua tilaraporttia ei saada ennen kuin ajastin laukeaa, tilaraportin pyyntö -heräte suoritetaan uudestaan sen hetkellä VT(S)-tilamuuttujan arvolla ja ajastin uudelleenkäynnistetään.

#### **5.3.2 Tilaraportin pyynnön esto -ajastin**

Tilaraportin pyynnön tuottama kaksisuuntainen RLC-protokollatason kontrolli-informaation lähetys aiheuttaa redundanttia dataa radioverkossa. Tämän datan määrän vähentämiseksi käytetään tilaraportin pyynnön esto -ajastinta, joka käynnistetään aina kun tilaraportin pyyntö -herätteen omaava datapaketti on lähetetty. Ajastimen ollessa aktiivinen tilaraportin pyyntö -herätettä ei suoriteta vaan se viivästetään ja suoritetaan kun ajastin on lauennut. Ajastin estää useiden tilaraportin pyyntö -mekanismien aiheuttamien herätteiden käsittelyn ja säästää protokollatasolla tapahtuvaa prosessointia.

### **5.3.3 Periodinen tilaraportin pyyntö -ajastin**

Periodinen ajastin käynnistetään kun RLC-instanssi on luotu ja parametrit asetettu. Aina ajastimen lauetessa tilaraportin pyyntö -heräte suoritetaan, ajastin alustetaan ja käynnistetään uudestaan. Periodinen ajastin on käynnissä koko instanssin eliniän. Instanssin ollessa keskeytetty ajastimiin perustuvat tilaraportin pyynnot ovat aktiivisia ja mahdolliset tilaraportin pyyntö -herätteet suoritetaan keskeytetyn tilan purettua.

### **5.3.4 Tilaraportin esto -ajastin**

Tilaraporttien pyynnöistä aiheutuvien tilaraporttien lähettämisen rajoittaminen vastaanottajalla perustuu tilaraportin esto -ajastimen toimintaan. Koska normaalissa datansiirrosta tilaraportin pyynnön esto -ajastimen käyttö ei lisää redundantin datan määrää lähetyssuunnassa, voidaan sitä käyttää väljemmin kriteerein kuin vastaanottopäähän sijoittuva tilaraportin estoon perustuvaa ajastinta. Paluukanavalla siirrettävien, tilaraportin pyyntö -herätteistä johtuvien, tilaraporttien määrää pyritään pitämään pienenä jotta ne eivät kasvattaisi radioverkon kuormaa. Tilaraportin esto -ajastinta käytetään estämään vastaanottajaa lähettämästä tilaraportteja liian usein. Ajastin aktivoidaan tilaraportin lähtiessä lähettävällä instanssille eikä vastaanottaja voi lähettää uusia kuittauksiin liittyviä tilaraportteja ajastimen ollessa aktiivinen. Mahdolliset saapuneet tilaraporttien herätteet viivästetään ajastimen ollessa aktiivinen. Ajastimen lauettua tilaraportti muodostetaan ja lähetetään lähettävälle instanssille.

### **5.3.5 Periodinen tilaraportti -ajastin**

Vastaanottaja voi lähettää tilaraportin myös ennalta määrätyn ajastimen perusteella. Jos instanssi on vastaanottanut uusia datapaketteja edellisen tilaraportin lähettämisen jälkeen lähettää instanssi tilaraportin lähettävällä instanssille ja uudelleenkäynnistää ajastimen.

### 5.3.6 Uudelleenalustus-ajastin

RLC AM -instanssien synkronoidessa sisäiset tilansa uudestaan uudelleenalustusrutiinin avulla uudelleenalustus-ajastinta tarvitaan käsittelemään RESET- ja RESET ACK -kontrolliviestien virheettömyyttä. Ajastin aktivoidaan RESET-kontrolliviestin lähetyksessä ja pysäytetään kun uudelleenalustusrutiini on suoritettu ja RESET ACK -kontrolliviesti on vastaanotettu. Jos ajastin laukeaa, lähettää instanssi uuden RESET-kontrolliviestin, uudelleenkäynnistää ajastimen ja päivittää uudelleenalustusmuuttujaa VT(RST).

### 5.3.7 MRW-kontrolliviestin lähetysväli -ajastin

Kaikille kuittauksen vaativille kontrolliviesteille tarvitaan ajastin, jotta pakettien katoamiset voidaan havaita. MRW-kontrolliviestin lähetysväli -ajastin ilmoittaa kuinka kauan kuittaukselta MRW-kontrolliviestille odotetaan ennen kuin uusi MRW-kontrolliviesti lähetetään ja VT(MRW)-tilamuuttujan arvoa päivitetään.

### 5.3.8 RLC SDU:n poisto -ajastin

Korkeammilta protokollakerroksilta vastaanotettuja datapaketteja, RLC SDU:ita voidaan poistaa ajastimen perusteella. Jos instanssille on ajastin määritetty asetusparametreissa, asettaa se jokaiselle SDU:lle ajastimen, mikä käynnistetään kun SDU:n ensimmäinen segmentti on lähetetty. Jos ajastin laukeaa ennen kuin SDU on kokonaan kuitattu vastaanottajan toimesta, poistetaan SDU lähetysikkunasta SDU:n poisto-rutiinilla.

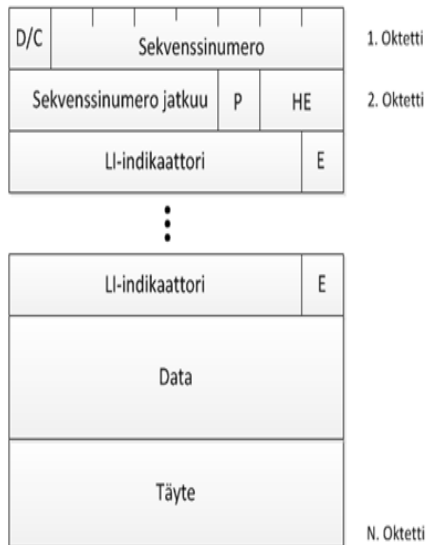


## 6 Tiedonsiirto kuittaavan RLC-protokollan avulla

Radioverkon läpi kulkevassa pakettidataliikenteessä tärkeimmät ominaisuudet ovat tiedonsiirron tehokkuus ja eheys. Koska pakettidataliikenne on luonteeltaan purskeista ja hyötydatapaketin koko vaihtuvanmittainen, tarvitsee RLC-protokollan muokata data radioverkkoon sopivaksi. PDP-kontekstista saatujen tiedonsiirtoyhteyden laatuparametrien mukaan RRC-protokolla muodostaa RLC AM -instanssin asetusparametrit, joiden mukaan instanssi suorittaa tiedonsiirron. Riippuen siirrettävän tiedon tyypistä ja RLC AM-instanssin asetusparametreista, voi RLC-tason tiedonsiirron tehokkuus vaihdella suuresti. Tiedonsiirto RLC AM -instanssien välillä perustuu tarkasti määriteltyyn kontrolli-informaatioon, johon kuuluvat RLC-datapaketin asetusparametrien mukainen muoto otsikkokenttineen sekä kontrolliviestit. [2]

### 6.1 RLC-datapaketti

RLC AM -instanssin tiedonsiirtoon käytetään kuittaavan RLC-instanssityypin datapakettia (Acknowledge Mode Data Payload Data Unit, AMD PDU). Datapakettityyppiä käytetään siirtämään järjestyksessä numeroituja datapaketteja vastaanottajalle. RLC PDU:iden rakennuksessa käytetään paloittelua ja liittämistä ja ne ovat Release6-standardin mukaisesti vakiomittaisia. RLC-protokollatason viestejä vastaanotettaessa datapaketit erotetaan kontrolliviesteistä ensimmäisenä rakenteessa olevasta paketin tyyppi - eli D/C-kentästä. Kentän ollessa aktivoituneena loppuosa viestistä voidaan määritellä datapaketiksi. Kuvan 12 mukainen RLC AMD PDU koostuu kaksitavuisesta otsikkokentästä ja dataosuudesta. Dataosuus voi sisältää hyötydatapakettien loppu-kenttiä, käyttäjän dataa, liitettyjä kontrolliviestejä tai täytettä.



Kuva 12: RLC AMD -datapaketti

### 6.1.1 Sekvenssinumerointi

RLC AMD -datapaketin sekvenssinumerointia käytetään tiedonsiirron kontrolloimiseen kuten uudelleenlähetyksiin sekä ylempien protokollakerrosten hyötydatapakettien järjestämiseen ja rakentamiseen vastaanottavassa RLC AM-instanssissa. RLC PDU:n sekvenssinumero on datapakettikohtainen eikä yhdelläkään toisella saman tiedonsiirto-suunnan datapaketilla voi olla samaa sekvenssinumeroa samaan aikaan. Sekvenssinumero ilmoitetaan datapaketin otsikkokentässä 12 bitillä, joten sen arvoalue on välillä 0 ja 4095  $[0, 2^{12}-1]$ . Jos sekvenssinumerointia käyttävät laskurit, kuten lähetystilamuuttuja, saavuttaa sekvenssinumeroinnin korkeimman arvon, pyörähtää se seuraavalla laskurin päivityskerralla pienimpään sekvenssinumeron arvoon. Lähetytys- ja vastaanottoikkunoiden koko määritellään aina pienemmäksi tai yhtä suureksi kuin sekvenssinumeroiden määrä, jotta radioverkossa siirtyvät datapaketit ja niiden kontrollointi olisi yksikäsitteisiä.

### 6.1.2 Tilaraportin pyyntö -kenttä (P)

Lähtävän RLC AM -instanssin datapaketin rakennuksen yhteydessä tarkastetaan onko tilaraportin pyyntö -herätettä aktivoitunut. Jos heräte on aktivoitunut, aktivoidaan datapaketin otsikkokentän tilaraportin pyyntö -kenttä (P). Tilaraportin pyyntö -heräte aktivoituu asetettujen tilaraportti-mekanismien tai -ajastinten perusteella. Vastaa-

ottajalle tilaraportin pyyntö kohdistetaan datapaketin sekvenssinumeroon ja vastaanottaja on velvollinen lähettämään tilaraportin kyseiseen sekvenssinumeroon asti liittyvistä vastaanottoikkunan tapahtumista.

### 6.1.3 Otsikon laajennos -kenttä (HE)

RLC AM-instanssin datapaketin otsikon laajennos -kentällä (HE, Header Extension) kuvataan datapaketin käyttäjän dataan liittyviä tietoja. Tietojen avulla vastaanottaja pystyy tulkitsemaan dataosuuden sisällön oikein. Kuvan 13 mukaan HE-kentän kahdella bitillä voidaan ilmaista alkaako dataosuus hyötydatalla vai löytyykö dataosuudesta hyötydatapaketin viimeinen segmentti. Release7:n mukaiseen standardiin on lisätty HE-kentän arvo, jolla voidaan säästää kontrolli-informaatiota jos dataosuus on kokonaisuudessaan hyötydatapaketin viimeinen segmentti.

HE-kentän arvo	Tarkoitus
0	Seuraava oktetti sisältää dataa
1	Seuraava oktetti sisältää LI-kentän
2 (Rel7)	Hyötydatapaketti päättyy datapaketin viimeiseen oktettiin

*Kuva 13: HE-kentän arvot*

### 6.1.4 RLC SDU:n loppu - eli LI-kenttä

RLC-datapaketin dataosuuden alussa voi olla LI- ja E-kenttiä ilmoittamassa datapaketin dataosuudessa olevista hyötydatapaketeista. Ensimmäinen LI- ja E-kenttä ilmoitetaan otsikon laajennos-kentässä ja se ilmoittaa dataosuudessa olevan hyötydatapaketin viimeisen tavun sijainnin. Jos samassa datapaketissa on usean hyötydatapaketin viimeiset segmentit, voidaan E-kentällä ilmoittaa seuraavan oktetin sisältävän uuden LI- ja E-kentän. LI-kenttä voi olla joko 7- tai 15-bittinen ja sen arvo kuvaa datapaketissa olevan hyötydatapaketin viimeisen segmentin kokoa okteteissa mitattuna. LI-kentän pituus määräytyy instanssille asetetun RLC-datapaketin koon perusteella, 7-bittinen arvo pystyy esittämään alle 125 tavun dataosuuksia. 15-bittinen LI-kenttä asettaa teoreettisen maksimipituuden RLC AM -datapaketin dataosuudelle 32 kilotavuun. LI-kenttien määrä riippuu hyötydatapakettien ko'oista ja instanssin asetusparametreista.

Vastaanottaja käyttää LI-kenttää havaitsemaan RLC SDU:iden päättävät dataosuudet oikein ja hylkäämään hyötydatan jälkeen sijoitetun täytteen tai tarkastelemaan datapakettiin liitettyä kontrolliviestiä.

LI-kentällä voidaan ilmoittaa informaatiota vastaanottajalle myös erikoistapauksissa. Kuvissa 14 ja 15 on esitetty erikoisarvot sekä 7-, että 15-bittiselle LI-kentän erikoisarvoille.

Indikaattorin arvo	Indikaattorin selitys
0	Edellinen RLC PDU päätti RLC SDU:n
32 763	Edellisen RLC PDU:n toiseksi viimeinen oktetti päätti RLC SDU:n
32 766	Liitetty kontrolliviesti RLC PDU:ssa
32 767	RLC PDU:n loppu on täytettä

*Kuva 14: 15-bittisen RLC SDU:n pituusindikaattorin erikoisarvot*

Indikaattorin arvo	Indikaattorin selitys
0	Edellinen RLC PDU päätti RLC SDU:n
126	Liitetty kontrolliviesti RLC PDU:ssa
127	RLC PDU:n loppu on täytettä

*Kuva 15: 7-bittisen RLC SDU:n pituusindikaattorin erikoisarvot*

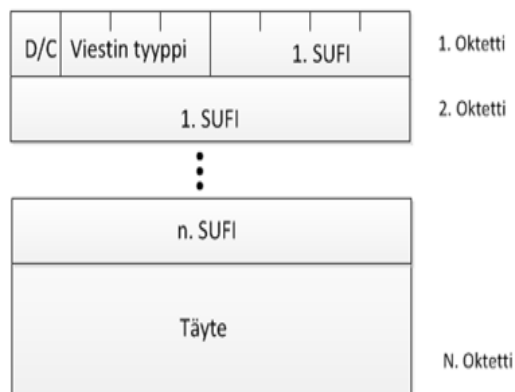
### 6.1.5 Dataosuus

Ylemmiltä protokollakerroksilta vastaanotetut RLC SDU:t tai niiden segmentit kopioidaan datapaketin dataosuuteen ja LI-kentät päivitetään niiden mukaisesti. Jos liittäminen on asetettu instanssin asetusparametreissa, voidaan hyötydatapaketin viimeinen segmentti ja seuraavan hyötydatapaketin ensimmäinen segmentti asettaa peräkkäin dataosuudelle niin, että ylimääräistä täytettä ei tarvita. Tämä säästää redundantin datan lähetystä radioverkon läpi. Release6-standardin mukaan dataosuus vakio-mittainen ja tyypillinen radioverkossa käytetty RLC dataosuuden koko on 360 tai 640 bittiä eli 40 tai 80 tavua.

## 6.2 Kontrolliviesti

Kaksisuuntaisessa RLC AM-instanssien välisessä kommunikaatiossa kontrolliviesteillä (Status PDU) välitetään tiedonsiirron kontrolloinnin kannalta tarvittavat toiminnot. Tavallisesti kontrolliviesteillä ilmoitetaan tilaraportin muodossa tietoa kadonneista tai vastaanotetuista datapaketeista, vuonhallintaan liittyviä käskyjä tai tietoa epäonnistuneesti lähetetyistä hyötydatapaketeista. Kontrolliviestin lähettämiseen RLC AM -instanssilla on useita erilaisia herätteitä jotka riippuvat instanssin asetusparametreista. RRC-protokollan lähettämistä parametreista riippuen instanssi on velvollinen lähettämään kontrolliviestin jos lähettäjä on sitä pyytänyt datapaketissa eikä tilaraportin lähetyksen esto -ajastinta ole aktivoitu. Vastaanottaja voi tehdä tilaraportin sisältävän kontrolliviestin jos se havaitsee yhden tai usean kadonneen datapaketin, mutta vain jos ominaisuus on asetettu RRC:n toimesta. Jos RLC AM -instanssille on asetettu periodiseen ajastimeen perustuva kontrolliviestin lähetys, saadaan RLC-kerroksen tehokkuutta parannettua asettamalla ajastin hieman suuremmaksi kuin RLC-tason kiertoaika (RTT, Round-Trip-Time). [11]

Kontrolliviesti erotetaan datapaketista paketin tyyppi -kentän (D/C-kenttä) arvolla 0. Viesti voi sisältää yhden tai useamman kontrolliviestin, jotka vastaanottaja tunnistaa Viestin tyyppi -tunnisteesta ja käsittelee ne järjestyksessä.



Kuva 16: RLC AM -kontrolliviesti

### 6.2.1 Viestin tyyppi

Kontrolliviestin muodon määräävä Viestin tyyppi -kenttä esitetään kontrolliviestin ensimmäisessä oktetissa D/C-kentän jälkeen kuvassa 16 esitetyn kontrolliviestin rakenteen mukaisesti. Viestin tyyppi -kenttä ilmoittaa kolme erilaista viestityyppiä kuten

kuvassa 17 esitetään. Kontrolliviesti voi olla joko tilaraportti-, uudelleenasetuspyyntö- tai uudelleenasetuksen kuittausviesti. Tämän kentän perusteella vastaanottava RLC AM -instanssi käsittelee kontrolliviestin.

Viestin tyyppin arvo	Viestin tyyppi
0	Tilaraportti
1	Uudelleenasetuspyyntö
2	Uudelleenasetuskuittaus

*Kuva 17: Kontrolliviestin tyypit*

## 6.2.2 SUFI -tilaviesti

Kahden RLC AM -instanssin välistä datavirtaa kontrolloidaan kontrolliviestissä lähetäville tilaraportti-tyyppisillä tilaviesteillä eli SUFI-kentillä. SUFI-kenttiä käytetään organisoimaan kontrolliviestien informaatio siten, että kummatkin RLC-instanssit ymmärtävät sen. SUFI-kentät ovat vaihtuvanmittaisia kenttiä ja ne koostuvat kolmesta alikentästä: tyyppistä, pituudesta ja arvosta. Näistä vain tyyppi on pakollinen ja jonka mahdolliset arvot ovat esitetty kuvassa 18. Seuraavassa esitetään SUFI-kentän eri tyypit SUFI-tyypin arvon mukaisessa järjestyksessä. 3GPP Release7:n perustuva Tilaraportin pyyntö -SUFIn tyyppi esitellään luvussa 7.4.2.

SUFIn tyyppin arvo	SUFIn tyyppi
0	Data loppu (No More Data)
1	Ikkunan koko (Window)
2	Kuittaus (Ack)
3	Lista (List)
4	Bittikartta (Bitmap)
5	Suhteellinen lista (Rlist)
6	RX-ikkunan siirto (MRW)
7	RX-ikkunan siirron kuittaus (MRW Ack)
8	Tilaraportin pyyntö (Poll) Release 7

*Kuva 18: SUFI-kentät*

### ***Data loppu (No More Data)***

Kontrolliviestin viimeiseksi SUFI-tilaviestiksi sijoitetaan yleensä Data loppu-tilaviesti. Tilaviestin avulla ilmoitetaan kontrolliviestin dataosuus päättyneeksi ja datapaketin loppuosa tulkitaan täytteeksi. Data loppu -tilaviestillä voidaan myös ilmoittaa lähettävän RLC AM -instanssin tiedonsiirtopuskureiden tyhjentyneestä vastaanottajalle datapakettiin liitettynä. Tiedon avulla vastaanottaja voi esimerkiksi optimoida virransäätöä tiedonsiirron yhteydessä.

### ***Ikkunan koko (Window)***

Kuittausmekanismin ohella tiedonsiirron tehokkuutta voidaan säätää lähetyssikkunan kokoa muuttamalla. Ikkunan koko -tilaviestillä lähetyssikkunaa voidaan muuttaa vastaanottavan RLC AM -instanssin toimesta keskeyttämättä tiedonsiirtoa. Tilaviesti sisältää halutun lähetyssikkunan koon, jota dataa lähettävän RLC AM -instanssin tulee noudattaa seuraavaan Ikkunan koko -tilaviestiin tai uudelleenasetukseen asti. Tilaviestin vastaanottaessa AM-instanssi päivittää VT(WS)-lähetyssikkunatilamuuttujan arvon viestin mukaiseksi. Pienin mahdollinen lähetyssikkunan koko on 1, jolloin lähettävä AM-instanssi joutuu odottamaan kuittaus-tilaviestiä jokaiseen lähettämäänsä datapakettiin ennen uuden datapaketin lähetystä.

### ***Kuittaus (Ack)***

RLC-protokollatason tiedonsiirrossa RLC AM -instanssi lähettää tilaraportin sitä pyytäessä. Onnistuneessa tiedonsiirrossa vastaanottaja lähettää kontrolliviestin, jossa on SUFI-tilaviesti tyyppiä Kuittaus. Kuittaus-tilaviesti sisältää sekvenssinumeron, jota vastaanottaja odottaa seuraavaksi vastaanotettavaksi. Tällä viestillä vastaanottaja kuittaa kaikki RLC-datapaketit, jotka ovat saapuneet edellisen Kuittaus-tilaviestin jälkeen arvokentässä ilmoitettuun sekvenssinumeroon asti. Saatuaan Kuittaus-tilaviestin AM-instanssi päivittää kuittaus-tilamuuttujaa tilaraportin mukaan, poistaa datapakettien tiedot lähetyssikkunasta ja poistaa onnistuneesti lähetetyt RLC SDU:t hyötydatapuskurista.

### ***Lista (List)***

Epäonnistuneen tiedonsiirron yhteydessä RLC AM -instanssi lähettää negatiivisen kuittauksen kadonneista datapaketeista tilaraporttia pyydettyä. Yksinkertaisin negatiivinen kuittaus on Lista-tilaviesti, joka ilmoittaa sekvenssinumero- ja pituuspareilla kadonneet datapaketit. Jokainen sekvenssinumero- ja pituuspari ilmoittaa kadonneen datapaketin sekvenssinumeron ja kuinka monta kyseistä sekvenssinumeroa

seuraavaa datapakettia on epäonnistuneesti vastaanotettu. Koska yhdellä Lista-tilaviestin informaatioparilla esitetään maksimissaan viidentoista peräkkäisen kadonneen datapaketin tiedot, voidaan tarvittaessa asettaa useampi informaatiopari peräkkäin ja ilmoittaa tästä Lista-tilaviestin alussa olevalla pituus-kentällä. Negatiivisen kuittauksen lisäksi samassa kontrolliviestissä voi olla viimeisenä Kuittaus-tilaviesti, jolla ilmoitetaan viimeinen onnistuneesti vastaanotettu datapaketti edellisen Kuittaus-tilaviestin jälkeen.

### ***Bittikartta (Bitmap)***

RLC-datapaketteja bittikenttänä kuvaava Bittikartta-tilaviesti on ainoa SUFI-tyyppi, jolla voidaan ilmoittaa sekä positiiviset että negatiiviset kuittaukset samassa viestissä. Bittikartta-tilaviesti sisältää arvo-kentässä sekvenssinumeron ja bittikentän. Bittikentän jokainen elementti ilmoittaa annetun sekvenssinumeron ja sitä seuraavien sekvenssinumeroiden omaavien datapakettien vastaanottotiedot. Jos elementin arvo on yksi, kyseisen sekvenssinumeron omaava datapaketti on onnistuneesti vastaanotettu. Arvolla nolla tilaviestin vastaanottaja tietää lähettää kyseisen datapaketin uudelleen.

### ***Suhteellinen lista (Rlist)***

Koodisanoihin perustuvaa Suhteellinen lista -tilaviestiä käytetään silloin, kun yksittäisiä datapaketteja hukkuu, mutta Lista- tai Bittikartta-tilaviestien suurempaa kokoa halutaan välttää. Suhteellinen lista -tilaviestin arvo-kentässä ilmoitetaan ensimmäinen epäonnistuneesti vastaanotettu sekvenssinumero. Tämän jälkeen tilaviestissä on peräkkäin asetettuja koodisanoja tilaviestin pituus-kentän arvon mukaisesti. Koodisana indikoi etäisyyttä kahden kadonneen RLC-datapaketin sekvenssinumeroiden välillä.

### ***RX-ikkunan siirto (MRW)***

Lähettävä RLC AM -instanssi voi pyytää vastaanottajaa siirtämään vastaanottoikkunaa ja indikoimaan poistettavia hyötydatapaketteja RX-ikkunan siirto -tilaviestillä. Tilaviesti sisältää sekvenssinumeron, jolla esitetään viimeisen poistettavan datapaketin sekvenssinumero. Käytännössä vastaanottoikkunaa liu'utetaan eteenpäin, kunnes tilaviestissä annettu sekvenssinumero ei enää kuulu vastaanottoikkunaan.



### ***RX-ikkunan siirron kuittaus (MRW Ack)***

RX-ikkunan siirto -tilaviestin ilmoittamaan vastaanottoikkunan siirtoon vastaanottava RLC AM -instanssi vastaa lähetetyn tilaviestin kuittaavalla RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviestillä. Tilaviesti sisältää VR(R)-vastaanottotilamuuttujan uuden arvon. Tämän arvon avulla RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviestin vastaanottaja päätelee onko vastakkaisen RLC AM-instanssin vastaanottoikkunan siirto onnistunut.

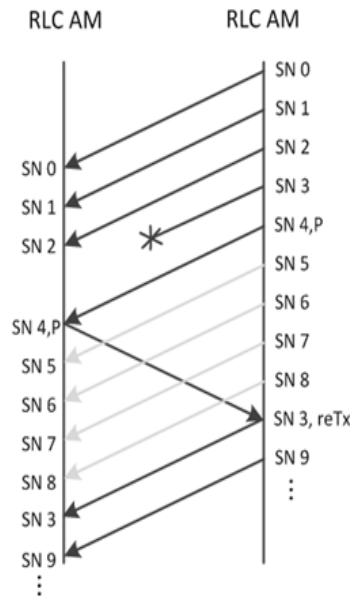
### **6.2.3 Liitettävä kontrolliviesti**

Datapaketin täyteen tilalle voidaan asettaa liitettävä kontrolliviesti, jonka rakenne on tavallista kontrolliviestiä vastaava lukuun ottamatta paketin tyyppi -kentän puuttumista. Liitetty kontrolliviesti vaatii vähintään kolme oktetia tilaa riippuen SUFI-tilaviestin tyypistä ja määristä. RLC-protokolla ei määrittele milloin liitettyä kontrolliviestiä tulisi käyttää, mutta liittämistä saatava tehokkuusetu täytteeseen ja ylimääräisiin kontrolliviesteihin verrattuna kannustaa käyttämään liitettyä kontrolliviestiä aina kun se on mahdollista.

## **6.3 RLC AM -datapaketin uudelleenlähetys**

Tiedonsiirtoa vastaanottava RLC AM -instanssi välittää tilaraportin avulla onnistuneesti ja epäonnistuneesti vastaanotettujen datapakettien sekvenssinumerot niitä pyydettyä. Jos RLC AM -datapaketti pyydetään lähettämään uudestaan, on alkuperäinen datapaketti joko hukkunut radioverkossa RLC AM -instanssien välillä tai vastaanottava RLC AM -instanssi on hylännyt vastaanotetun datapaketin esimerkiksi täyden vastaanottoikkunan takia. Kuvassa 19 esitetään RLC AM -instanssien välinen tiedonsiirto, jossa datapaketti sekvenssinumerolla 3 katoaa radioverkossa. Tilaraportin pyyntö -herätteen aktivoitumisen takia lähettävä RLC AM -instanssi asettaa myöhemmin lähetettävään datapakettiin tilaraportin pyyntö -kentän P aktiiviseksi. Tilaraportin lähetyspyynnön saatuaan vastaanottaja muodostaa tilaraportin vastaanottoikkunan perusteella. Epäonnistuneesti vastaanotetun datapaketin sekvenssinumerolle 3 vastaanottaja lähettää uudelleenlähetyspyynnön esimerkiksi Lista-tilaviestillä. Uudelleenlähetyspyynnön saatuaan lähettävä RLC AM -instanssi etsii kohteena olevan datapaketin tiedot ja muodostaa RLC-datapaketin uudelleenlähetettäväksi. Vastaanottajan saadessa RLC-datapaketin sekvenssinumerolla 3, päivittää se vastaanotto-tilamuuttujaa VR(R) sen hetkiseen oikeaan arvoon 8. Lähettävä RLC AM -instanssi jatkaa tiedonsiirtoa normaalisti koko uudelleenlähetys-rutiinin ajan, jolloin minimoidaan uudelleen-

lähetyksestä mahdollisesti aiheutuva RLC SDU:iden siirron viivästyminen.



Kuva 19: RLC AM -protokollan uudelleenlähetysrutiini

#### 6.4 RLC AM -instanssin uudelleenmuodostus

RLC-protokollaa kontrolloiva RRC-protokolla voi käskä RLC AM -instanssia uudelleen muodostamaan sisäiset muuttujat ja ajastimet esimerkiksi radiokanavan uudelleenasetuksen yhteydessä. Uudelleenmuodostus voidaan kohdistaa joko vain toiseen tiedonsiirtosuuntaan tai kumpaankin. Sisäisten muuttujien uudelleenmuodostuksessa puskurit tyhjennetään ja tiedonsiirrossa oleva data hylätään. Uudelleenmuodostuksen ajoituksesta ja tiedonsiirron ominaisuuksista riippuen edellisestä hyötydatapaketista voi jäädä datasegmenttejä lähettämättä, jolloin kyseisen hyötydatapaketin tiedot on poistettava ja aloittaa tiedonsiirto seuraavasta hyötydatapaketista.

#### 6.5 RLC SDU:n poistaminen

RLC AM -instanssi tarjoaa ylemmille protokollakerroksille rajoitetun tiedonsiirron luotettavuuden. Tietyn ajanjakson sisällä tai datapakettien uudelleenlähetykertojen aikana kuittaamatta jääneet RLC SDU:t voidaan poistaa lähettäjän toimesta.

Signaloinnin avulla poistettavissa hyötydatapakettien poistossa RX-ikkunan siirto-tilaviesteillä vastaanottaja ja lähettäjä saavat synkronoitua hyötydatapaketin poistosta aiheutuneen vastaanotto- ja lähetyssikkunoiden siirron jälkeisen tilan. Uudelleen- alustuksessa tapahtuva hyötydatapaketin poisto tapahtuu uudelleen- alustus-rutiinin avulla. Poistetuttujen hyötydatapakettien määrä voidaan asetusparametrien mukaan indikoida PDCP-protokollakerrokselle samalla kun RX-ikkunan siirto - tai RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviesti on lähetty tai instanssi uudelleen- alustettu. Radiopääsykanavan (RAB, Radio Access Bearer) laadun mukaan RRM-protokolla päättää mitä hyötydata- pakettien poisto-ominaisuutta RLC AM -instanssi käyttää. Hyötydatapakettien poisto sallitaan estämään esimerkiksi TCP-protokollakerroksen uudelleen- lähetyksen törmäyk- siä tai lähettävän RLC AM -instanssin tiedonsiirtopuskureiden ylivuotaminen.

### **6.5.1 Aikaperustainen RLC SDU:n poisto**

RLC AM -instanssin hyötydatapaketin poisto -ajastinta käytetään aikaperustaiseen RLC SDU:n poistoon. Ajastimen käyttö ei ota huomioon tiedonsiirron nopeuden vaihteluita, vaan antaa tarkan määritelmän tiedonsiirrossa siirrettävän hyötydatapaketin suurimpaan tiedonsiirtoviiveeseen radioverkon ylitse. Jokaiselle hyötydatapaketille lähettyvä RLC AM -instanssi käynnistää hyötydatapaketin poisto -ajastimen. Jos ajastin laukeaa ennen kuin kyseisen hyötydatapaketin viimeinen datasegmentti on onnistuneesti kuitattu, hyötydatapaketti poistetaan lähettäjän toimesta.

### **6.5.2 Lähetyskertaperustainen RLC SDU:n poisto**

Ajastimeen perustuvan hyötydatapaketin poistamisen lisäksi RLC AM -instanssi voidaan asettaa poistamaan RLC SDU:ita myös epäonnistuneiden RLC-datapakettien uudelleen- lähetyksien perusteella. Näin RLC SDU:iden poisto ja maksimaalinen tiedonsiirron viive riippuu tiedonsiirron nopeudesta. RLC AM -datapaketin lähetyskerta kuvaavaa VT(DAT)-tilamuuttujan arvoa verrataan jokaisella uudelleen- lähetyksellä asetetusparametreissa annettuun datapaketin maksimilähetykskerta -arvoon. Kyseisten arvojen ollessa yhtä suuria datapaketin datasegmentin omaava hyötydatapaketti merki- tään poistettavaksi ja signalointi tiedonsiirtoikkunoiden siirrosta aloitetaan.

### 6.5.3 RLC SDU:n poisto signaloinnin avulla

RLC AM -instanssin vastaanottaessa RX-ikkunan siirto -tilaviestin sisältämän kontrolliviestin tarkistaa instanssin vastaanottopuskurin tilan. Instanssi muodostaa onnistuneesti vastaanotetut hyötydatapaketit ja siirtää ne ylemmille protokollakerroksille. Epäonnistuneesti vastaanotetut datapaketit ja hyötydatapaketit poistetaan tilaviestissä mainittuun sekvenssinumeroon asti. Vastaanottava RLC AM -instanssi päivittää VR(R), VR(H) ja VR(MR) -tilamuuttujat tilaviestissä annettujen parametrien mukaiseksi ja rakentaa RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviestin uudella VR(R) -vastaanottotilamuuttujan arvolla. Tilaviestin sisältämä kontrolliviesti lähetetään lähettävälle RLC AM -instanssille ja vastaanottavan RLC AM -instanssin vastaanottoikkunan siirto-operaation on onnistuneesti suoritettu.

Lähettävä RLC AM -instanssi havaitsee hyötydatapaketin poisto-operaation onnistuneen jos vastaanottavan RLC AM -instanssin lähettämä kontrolliviesti sisältää RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviestin, jonka sisältämä sekvenssinumero on korkeampi kuin lähetetyssä RX-ikkunan siirto -tilaviestissä. Onnistunut hyötydatapaketin poisto voidaan ilmoittaa myös normaalilla kuittaus-tilaviestillä, jos sen ilmoittama sekvenssinumero on suurempi kuin RX-ikkunan siirto -tilaviestissä ilmoitettu. Kuittauksen saatuaan lähettävä RLC AM -instanssi lopettaa RX-ikkunan siirto -ajastimen ja päivittää VT(A) ja VT(MS) -tilamuuttujia saadun kontrolliviestin mukaisesti. Jos RX-ikkunan siirto -ajastin laukeaa ennen RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviestin vastaanottoa, päivitetään VT(MRW) -tilamuuttujan arvoa. Jos tilamuuttujan arvo saavuttaa asetusparametreissa annetun suurimman arvon, lopetetaan RLC SDU:n poistorutiini ja aloitetaan RLC AM -instanssin uudelleenalustusrutiini. Muuten lähettävä RLC AM -instanssi lähettää uuden RX-ikkunan siirto -tilaviestin ja uudelleen käynnistää RX-ikkunan siirto -ajastimen. Jos vastaanottaja vastaanottaa virheellisen RX-ikkunan siirto -tilaviestin, lähettää vastaanottaja kuittaus-kontrolliviestin sen hetkellä VR(R)-tilamuuttujan arvolla. Lähettävä RLC AM -instanssi hylkää kontrolliviestin jos se vastaanottaa virheellisen RX-ikkunan siirron kuittaus -tilaviestin. Yhdellä tiedonsiirto-suunnalla voi olla vain yksi yhtäaikainen RLC SDU:n poisto-rutiini kerrallaan. Jos toinen hyötydatapaketin poisto on aktivoitu toisen poisto-rutiinin jo ollessa aktiivinen, uudelleenaloitetaan poisto-rutiini ensimmäisen valmistuttua.

### 6.5.4 RLC SDU:n poisto uudelleenalustuksessa

RLC-protokollan hyötydatapaketti voidaan poistaa myös ilman lähetyksertaperustaista tai aikaperustaista hyötydatapaketien poistoa. Vaihtoehtona on hyötydatapaketien poisto RLC AM -instanssin uudelleenalustusrutiinin avulla, jolloin kaikki lähettäjän ja

vastaanottajan RLC AM -instanssin tiedonsiirtopuskurit tyhjennetään ja sisäiset muuttajat alustetaan. Jotta tiedonsiirto voidaan aloittaa onnistuneesti uudestaan, synkronoidaan tiedonsiirto instanssien välillä uudelleenalustus -kontrolliviesteillä. Samalla poistetaan lähetyksessä ollut hyötydatapaketti ja tiedonsiirto aloitetaan seuraavasta hyötydatapaketista.

## **6.6 RLC AM -instanssin uudelleenalustusrutiini**

Luotettavan kaksisuuntaisen tiedonsiirron kontrollointi tarvitsee uudelleenalustusmekanismin toipuakseen häviöllisen tiedonsiirtokanavan aiheuttamasta virheellisestä toiminnasta. Uudelleenalustuksessa RLC AM -instanssien sisäiset muuttajat ja ajastimet synkronoidaan ja asetetaan alkuarvoihinsa. Sisäisiin muuttajiin kuuluvat myös vastaanotto- ja lähetyksikkunat ja salauksen synkronointi HFN-parametrin (Hyper Frame Number) avulla. Samalla instanssi ilmoittaa vaadittaessa PDCP-kerrokselle uudelleenalustuksesta, jolloin PDCP-instanssi päivittää PDCP-tason sekvenssi-numerointia jos se on käytössä. Uudelleenalustusrutiini voidaan herättää seuraavilla herätteillä:

- RLC SDU:n poistoa ei ole asetettu toimimaan ajastimen eikä lähetykskertojen perusteella ja VT(DAT)-tilamuuttujan arvo on vähintään yhtä suuri kuin suurin sallittu lähetykskerta-parametrin arvo
- VT(MRW)-tilamuuttujan arvo on vähintään yhtä suuri kuin suurin sallittu RX-ikkunan siirto -tilaviestin lähetyksmäärä
- Tilaraportissa vastaanotetaan virheellinen sekvenssinumero Lista-, Bittikartta-, Suhteellinen lista-, tai Kuittaus-tilaviestin yhteydessä.

Uudelleenalustusherätteen saatuaan lähettävä RLC AM -instanssi siirtyy Uudelleenalustus-tilaan, lopettaa kontrolliviestien ja datapakettien lähettämisen ja vastaanottamisen. Instanssi rakentaa kuvan 20 mukaisen uudelleenalustus-kontrolliviestin eli RESET-viestin ja päivittää VT(RST) -tilamuuttujan arvoa lähetettyjen uudelleenasetusviestien määrän mukaan. Jos tämä arvo on pienempi kuin asetusparametrien suurin sallittu uudelleenasetusviestien lähetysten määrä, voidaan uudelleenasetusviesti lähettää ja aktivoida uudelleenasetusajastin. VT(RST) ja uudelleenasetusviestien lähetykskertojen maksimiarvojen ollessa yhtä suuria ilmoitetaan RLC:tä kontrolloivalle RRC-protokolla-kerrokselle yhteyden uudelleenalustamisen epäonnistumisesta. Normaalisti tämän jälkeen RRC-protokolla poistaa RLC AM -instanssin tai uudelleenmuodostaa sen.

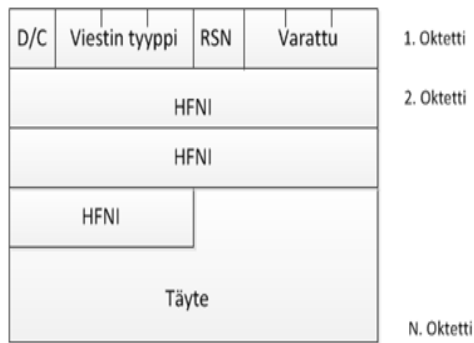
Uudelleenalustusrutiinissa käytetään uudelleenalustus- tai uudelleenalustuksen kuittaus-kontrolliviestejä instanssien välisen synkronoinnin saavuttamiseksi. Koska uudelleenalustusrutiini on merkki tiedonsiirron epäluotettavuudesta, on näiden kontrolliviestien prioriteetti suurempi kuin muiden RLC-protokollatason viestien. Kuten muutkin kontrolliviestit, tunnistetaan uudelleenalustusviestikin viestin otsikkokentän ensimmäisestä kontrolli-bittikentästä. Uudelleenalustus-kontrolliviesteille on omat PDU-tyyppi tunnisteensa, joten esimerkiksi uudelleenalustusrutiinin aikana tiedonsiirtoa vastaanottavan instanssin ei tarvitse katsoa koko kontrolliviestiä viestin tunnistukseen.

Uudelleenalustuspyynnössä lähetetään vastaanottajalle RSN-bittikentällä (Reset Sequence Number) uudelleenlähetyspyynnön sekvenssinumero. Samaan uudelleenalustusrutiiniin kuuluvat uudelleenalustus -kontrolliviestit tunnistetaan RSN-bittikentän arvolla ja uuden uudelleenalustusrutiinin alkaessa bittikentän arvoa muutetaan. Jos uudelleenalustus-kontrolliviesti on alkuperäisen uudelleenalustus-kontrolliviestin uudelleenlähetys, niin RSN-bittikentän arvo pysyy samana. Uudelleenalustus-kontrolliviestin vastaanottaessa RLC AM -instanssi tarkistaa RSN-bittikentän arvon. Jos arvo on eri kuin instanssin sisäinen RSN-arvo, aloittaa instanssi uudelleenaloitusrutiinin ja lähettää uudelleenalustuspyynnön kuittaus -kontrolliviestin indikaationa onnistuneesta uudelleenalustuspyynnöstä. Jos RSN-bittikentän arvo on sama kuin vastaanottajan RSN-arvo, lähettää se uudestaan aikaisemmin lähetetyn uudelleenalustuspyynnön kuittaus -kontrolliviestin. Uudelleenalustus-kontrolliviestin saatuaan vastaanottava RLC AM -instanssi suorittaa seuraavat toiminnot:

- Sisäisten muuttujien alustus, lukuun ottamatta VT(RST)-tilamuuttujan arvoa
- Ajustimien pysäytys, lukuun ottamatta RST-, Poisto-, Periodinen tilaraportin pyyntö ja Periodinen tilaraportin esto-ajastimet
- Kaikkien asetusparametrien asetus alkuarvoihin
- Vastaanottoikkunan tyhjennys
- Tiedonsiirrossa olevien datapakettien poisto lähetysikkunasta
- HFN-parametrin synkronointi uudelleenalustus-kontrolliviestin mukaiseksi
- Vaadittaessa ilmoitus uudelleenalustuksesta ylemmille protokollakerroksille
- Uudelleenalustuspyynnön kuittaus -kontrolliviestin lähetys

Uudelleenasetusrutiinin aloittavan RLC AM -instanssin vastaanottaessa uudelleenalustuksen kuittaus -kontrolliviestin tarkistaa se RSN-bittikentän arvon ja vertaa sitä lähetetyn uudelleenalustus-kontrolliviestin RSN-arvoon. Uudelleenalustus-pyyntö kuittaus -kontrolliviesti hylätään jos arvot eroavat toisistaan. Jos RSN-arvot ovat yhtä suuret, suorittaa instanssi samat toiminnot kuin uudelleenaloitus-kontrolliviestin

vastaanottajakin. Kun toiminnot on suoritettu, uudelleenasetusrutiini on suoritettu ja lähettäjä palauttaa instanssin sisäisen tilan Tiedonsiirto-tilaksi uudelleenasetusrutiinia edeltäneen tilan mukaisesti. Jos RST-ajastin laukeaa ennen kuin uudelleenalustuspyynnön kuittaus -kontrolliviesti on onnistuneesti vastaanotettu, päivitetään VT(RST)-tilamuuttujaa, lähetetään uusi uudelleenalustus-kontrolliviesti ja käynnistetään RST-ajastin uudestaan.



*Kuva 20: Uudelleenasetuksen pyyntö – ja kuittaus -viestien muoto*

## 7 Tiedonsiirron kehitysaskeleet RLC AM -protokollassa

Alkuperäinen 3GPP:n standardin Release99-versiossa esitelty RLC-protokolla on suunniteltu hyödyntämään DCH-kanavan tiedonsiirto-ominaisuuksia. Standardin esittelyn aikaan pakettikanavien tiedonsiirtonopeudet olivat vaatimattomia, käytännössä maksimissaan  $384 \text{ kbit/s}$ , ja jokaiselle pakettikanavalle varattiin oma dedikoitu siirtokanavansa radioverkossa. HSDPA- (High Speed Downlink Packet Access) ja HSPA-tekniikoiden (High Speed Packet Access) myötä tiedonsiirto-ominaisuuksia fyysisillä tiedonsiirtokanavilla voidaan parantaa ja HARQ-tekniikan (Hybrid Automatic Repeat Request) käyttö tukiaseman ja päätelaitteen välisessä kommunikaatiossa kasvattaa RLC-protokollatason tiedonsiirron hyötysuhdetta. Vaikka RLC-protokollan toiminnallisuus on suunniteltu myös suuremmille tiedonsiirtonopeuksille skaalautuvaksi, aiheuttaa radorajapinnan uusien modulaatiotekniikoiden, kuten 16-QAM ja 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), käyttömahdollisuus muutospainetta myös RLC-protokollan toiminnallisuuteen. Tämä luku esittelee tiedonsiirtonopeuksien kasvun myötä RLC-protokollakerrokselle aiheutuneet ongelmat ja niiden ratkaisut erityisesti Flexible RLC -ominaisuuden avulla.

### 7.1 Tiedonsiirtonopeus

HSDPA-tekniikassa käytettävä 16-QAM -modulaatio on tehokkain tiedonsiirtomuoto Release99-standardiin perustuvassa RLC AM -protokollatoteutuksessa. UMTS-radioverkossa 16-QAM -modulaatiota hyödyntävä palvelu voi maksimissaan saavuttaa  $14 \text{ Mbit/s}$  tiedonsiirtonopeuden. Jos muiden protokollakerrosten vaikutukset jätetään huomioimatta, vaikuttaa RLC-protokollan AM-instanssin tiedonsiirtonopeuteen alavirran lähetyssikkunan ja RLC-datapaketin koot sekä RLC-kerroksen datapakettien läpimenoaika. Laskettaessa teoreettista RLC-protokollakerroksen tiedonsiirtonopeutta oletetaan RLC- ja sen alapuolisten protokollakerrokset ideaalisiksi. Tällöin tiedonsiirrossa ei tapahdu häviöitä eikä sen seurauksena RLC-tason uudelleenlähetyksiä, vaan kaikki RLC-datapaketit tulevat kuitatuiksi vakiomittaisen RLC-kerroksen kiertoajan jälkeen. RLC-kerroksen kiertoajan minimoimiseksi on tiedonsiirtonopeuksien kasvaessa



suositeltavaa käyttää HSUPA-tekniikkaa paluukanavalla kulkevien kuittausten tehokkaaseen siirtämiseen DCH-tekniikan sijaan.

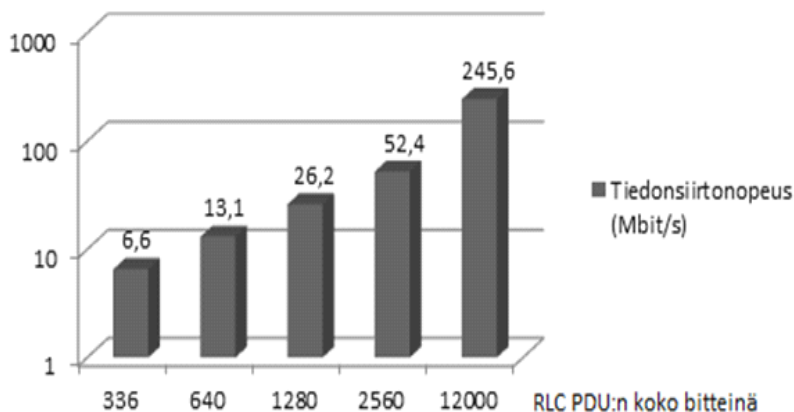
$$RLC\ AM\ tiedonsiirtonopeus\ (bit/s) = \frac{RLC\ AM\ \text{l\ahetysikkunan\ koko}\ (bit)}{RLC\ tason\ kiertoaika\ (s)} \quad (7.1)$$

Kaavan (7.1) mukaan RLC AM -instanssin tiedonsiirtonopeus on suoraan verrannollinen l\ahetysikkunan kokoon ja k\aaent\aaen verrannollinen RLC-tason kiertoaikaan. Suurempia tiedonsiirtonopeuksia asetettaessa l\ahetysikkunan koko pyrit\aaen saamaan mahdollisimman suureksi. RLC AM -protokollan standardin mukainen sekvenssinumeroiden ”SN on the flight” m\aaara (2048 *kpl*) m\aaarittaa suurimman mahdollisen samaan aikaan siirrett\aavien datapakettien lukum\aaaran, joten ikkunan fyysinen koko saadaan kertomalla datapakettien lukum\aaara datapaketin koolla. RLC AM -protokollan l\ahetysikkunan kokoa voidaan vaihdella radioverkon ja p\aaatelaitteen ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi p\aaatelaitteissa voidaan saada kustannuss\aaast\oj\aa pienent\aaem\aaalla RLC-protokollan tarvitseman muistin m\aaaraa. T\aaolloin joudutaan rajoittamaan vastaanottoikkunan kokoa ja RLC AM -protokollan suurinta mahdollista tiedonsiirtonopeutta.

RLC-protokollatason kiertoaika kuvastaa radioverkon viiveit\aa eri verkkoelementtien v\aaill\aa sek\aa mahdollista tilaraportin esto -ajastimen pituutta. Ajastimella ilmoitetaan tilaraporttien l\ahetysv\aaalin minimipituus, joten suuremmilla tiedonsiirtonopeuksilla ajastimen arvo voi olla merkitt\aav\aa. Release99-mukaisen pakettiliikenteen l\apimenoaika on arvioitu olevan suurimmillaan noin 200 *ms*, mutta HSDPA-palvelulla l\apimenoajaksi voi olettaa 100 *ms*. Hyviss\aa radioverkon olosuhteissa l\apimenoaika voi olla keskim\aaarin 60 *ms* luokkaa.

Alkuper\aaisess\aa Release99-standardin mukaisessa RLC-protokollan toteutuksessa k\aaytet\aaen usein 336 *bitin* kokoista RLC-datapakettia hyv\aaen h\y\otysuhteen aikaansaamiseksi huonoissakin olosuhteissa. L\ahetysikkunan ja RLC-datapaketin kokojen avulla saadaan laskettua RLC-protokollan tiedonsiirtoikkunan tarvitsema muistin m\aaara yhteen tiedonsiirtosuuntaan. 336 *bitin* datapakettilla RLC-protokollan huippunopeudeksi saadaan 100 *ms*:n l\apimenoajalla noin 6,5 *Mbit/s*. Radiorajapinnan tiedonsiirtonopeuksien kehittyess\aa RLC-protokollan tiedonsiirtokyky\aa on parannettu suurentamalla datapaketin dataosuuden kokoa kaksinkertaiseksi 640 *bittiin*. N\aain voidaan saavuttaa 16QAM-tekniikan sallima 14,0 *Mbit/s*:n huippunopeus hieman alle 100 *ms*:n l\apimenoajalla. Kuvassa 21 on esitelty teoreettinen RLC-protokollatason tiedonsiirron maksiminopeus 100 *millisekunnin* l\apimenoajalla RLC-l\ahetysikkunan koon ollessa 2048 *datapakettia* ja RLC-datapaketin koon ollessa 336 *bitti\aa*, 640 *bitti\aa*, 1280 *bitti\aa*, 2560 *bitti\aa* ja 12000 *bitti\aa*. Kuvan suurin arvo kuvastaa maksimaalista tiedonsiirtonopeutta RLC-protokollatasolla jos RLC-datapaketin koko on 1500 *tavua* eli

esimerkiksi FTP-tiedonsiirrossa (File Transfer Protocol) usein käytettävän Ethernet-kehyyksen mittainen. [1]



Kuva 21: RLC AM -protokollan maksimaalinen tiedonsiirtonopeus eri RLC-datapaketin ko'oilla.

## 7.2 Tiedonsiirron tehokkuus RLC-protokollakerroksella

Hyötydatan siirtyessä radioverkossa RLC-kerroksella, lisätään mahdollisten ylempien protokollakerrosten kontrollirakenteiden lisäksi myös RLC AM -protokollan kontrollirakenne datapakettiin. Näin varsinaisen hyötydatan osuus pienenee radiatorajapinnan yli menevän datan määrässä. Kasvattamalla RLC-datapaketin kokoa suurempien tiedonsiirtonopeuksien takia säästetään myös kontrollirakenteissa, koska datapaketteja tarvitsee lähettää vähemmän.

RLC-protokollatason parametreilla voidaan vaikuttaa suuresti tiedonsiirron tehokkuuteen. Esimerkiksi liittämisen mahdollistaa useamman hyötydatapaketin datasegmenttien pakkaamisen samaan RLC-datapakettiin, jolloin tiedonsiirtokaistaa kuluttavaa täytettä ei tarvita. Ilman liittämistä erot tiedonsiirron tehokkuudessa on huomattavia erikokoisilla hyötydatapaketin kooilla.

Tiedonsiirtoa ei voida tehostaa pelkällä RLC-datapaketin koon kasvulla, koska sen myötä myös tarpeettoman täyteen määrä lisääntyy. Kaksisuuntaisessa kommunikaatiossa kontrolliviestit lisäävät radioverkon läpi lähetettävää tietoa aina kun niitä ei voi liittää datapakettiin. Tämä pienentää datapaketin kasvusta saatua hyötyä. Varsinkin WWW-palveluiden käytössä tai radiatorajapinnan ominaisuuksien heikentyessä suuresta RLC-datapaketin koosta ei ole merkittävää hyötyä, koska tiedonsiirto on purskeista ja yksittäisiä kontrolliviestijä joudutaan lähettämään usein.

Koska 64-QAM -modulaatio pystyy maksimissaan 21 Mbit/s huippunopeuksiin ilman

MIMO- tai DC-ominaisuuksia, tarvitsee kyseiseen tiedonsiirtonopeuteen kykenevä RLC AM -instanssi kaavan (7.1) mukaisesti vähintään *1025 bitin* RLC-datapaketin koon. Näin suurella RLC-datapaketilla redundantin informaation määrä kasvaa niin suureksi, ettei sellaista kannata lähettää radiorajapinnassa. 3GPP:n ratkaisu ongelmaan on Release7:ssa ja Release8:ssa julkistettu HSPA+ -kokonaisuus.

### **7.3 HSPA+**

Perinteisesti 3G-tietoliikenneverkot perustuvat piirikytkentäisen 2G-järjestelmän päälle. Kuitenkin 3G-järjestelmän standardin kehittyessä tavoite on siirtyä niin sanotuksi All-IP -verkoksi, jossa myös aikaisemmin yhteydelliset piirikytkentäiset palvelut toteutetaan pakettikanavien avulla. 3GPP:n Release7- ja Release8-standardit esittelee HSPA+ -ominaisuuskokonaisuuden, jonka avulla kaikki matkapuhelinverkossa käytettävät palvelut voidaan toteuttaa pakettikanavien avulla niiden ominaisuuksia kehittämällä. HSPA+ sisältää muun muassa MIMO- (Multiple Input Multiple Output) ja DC-palvelut (Dual Carrier), korkeammat modulaatiot radiorajapinnassa, siirtoyhteyskerroksen ja Cell-FACH -tilan parannukset sekä VoIP - ja CS voice over HSPA -palvelut. Suoraan RLC protokollaan vaikuttavia ominaisuuksia ovat MIMO- ja DC-puhelut korkeampien tiedonsiirtonopeuksien takia sekä siirtoyhteyskerroksen parannukset, jotka mahdollistavat edellä mainitut palvelut.

Suurimpana RLC AM -protokollaan kohdistuvana kehitysaskeleena HSPA+ sisältää Flexible RLC -ominaisuuden, joka määrittelee miten RLC AM -datapaketti muodostetaan kun radioverkon kaikki osat tukevat vaihtuvan mittaista RLC-datapakettia. Myös perinteiseen Release99-standardiin perustuvaan RLC protokollaan tehtiin muutoksia tiedonsiirtotehokkuuden parantamiseksi.

### **7.4 Flexible RLC**

Flexible RLC -ominaisuuden tärkein kehityssaskel Release99-standardin mukaiseen RLC AM -instanssin tiedonsiirtoon verrattuna on käyttää vaihtuvan mittaista RLC-datapakettia vakiomittaisen RLC-datapaketin kanssa. Alkuperäisessä RLC AM -toteutuksessa vaihtuvanmittaista RLC PDU:ta ei voi toteuttaa esimerkiksi alempien protokollakerrosten vaatimusten takia. Yhteensopivuuden takia Flexible RLC ei syrjäytä Release99-standardin mukaista RLC AM -toteutusta, vaan molemmat tiedonsiirtomenetelmät toimivat rinnakkain. Kumpikin tiedonsiirtosuunta voi käyttää

haluamaansa tiedonsiirtomenetelmää ja Release7-standardin mukaan vain alavirta voi käyttää Flexible RLC-ominaisuutta. Release8-standardissa myös ylävirran Flexible RLC on tuettu. Jotta Flexible RLC -tiedonsiirto radioverkko-ohjaimen ja päätelaitteen RLC AM - instanssien välillä voidaan toteuttaa, tarvitsee radioverkon elementtien eli radio-verkko-ohjaimen, tukiaseman ja päätelaitteen tukea toiminnallisuutta.

### 7.4.1 Flexible RLC -tiedonsiirron vaatimukset

RLC AM-instanssin Flexible RLC-tiedonsiirtomuoto toteutetaan vain HSPA-liikenteeseen kykenevässä radioverkossa. 3GPP-standardin mukaiset HSDPA- ja HSUPA- tekniikat (High Speed Uplink Packet Access) tarjoavat palvelut RLC-protokollatason tehokkaammalle tiedonsiirtomuodolle, koska radiorajapinnan fyysisellä kerroksella HARQ-prosessit pienentävät RLC-protokollakerroksen uudelleenlähetysten mahdollisuutta huomattavasti verrattuna Release99-kanaviin. Myöskään dedikoitujen Release99-pakettikanavien paketinkokorajoitukset eivät koske Flexible RLC-ominaisuuden kykeneviä HSDPA- tai HSUPA-kanavia, koska RLC-protokollatason datapakettikoot ovat riippumattomia edellä mainittujen siirtokanavien ominaisuuksista. Siksi on mahdollista käyttää vaihtuvankokoisia ja huomattavasti suurempia RLC PDU -paketteja. Tukiasematasolla alemmat protokollakerrokset pystyvät jakamaan RLC-datapaketit pienemmiksi datapaketeiksi tarvittaessa radiorajapinnan tiedonsiirtotehokkuuteen sopeutuen.

Flexible RLC vaikuttaa radioverkossa palvelun tiedonsiirtonopeuteen, joten siihen vaikuttavat rajoitukset tarvitsee ottaa huomioon jokaisessa verkkoelementissä. Radioverkon eri elementtien tukemat ominaisuudet ilmoitetaan RRC-viestityksen avulla muille verkon elementeille. Näiden avulla radioverkko-ohjaimen RRM-protokolla voi määrittää Flexible RLC-ominaisuuden käytön kaikkien elementtien sitä tukiessa. Tukiasemassa HS-DSCH -kanavaa alalinkissä käyttävä Flexible RLC tarvitsee MAC-ehs -protokollaa siirtääkseen vaihtuvanmittaiset RLC-datapaketit radiorajapinnassa. Vastaavasti päätelaitteen tulee pystyä käsittelemään sekä MAC-ehs protokollan mukaista tiedonsiirtoa, että Flexible RLC -ominaisuutta RLC-protokollatasolla. Paluu-kanavana Flexible RLC -ominaisuus vaatii HSUPA-tiedonsiirtokanavan, jotta RLC AM -instanssin kuittaustoiminnallisuus olisi tarpeeksi tehokasta suuremmille tiedonsiirtonepeuksille tai viivekriittisille sovelluksille.

## 7.4.2 Flexible RLC:n aiheuttamat muutokset RLC-protokollassa

Flexible RLC-ominaisuuden muutokset ovat pääosin tehty käyttäjätason-protokollille siirtoyhteyskerrokselle sekä RRC-protokollalle. RLC-protokollalle RLC-datapaketin koon vaihtelu ja sen perusteella tehtävä datapaketin rakentaminen ja ylläpito ovat suurimpia muutoksia Release99-standardin mukaiseen RLC AM -protokollatoteutukseen verrattuna.

### ***Vaihtuvan mittainen RLC AMD PDU***

Release99 standardin mukaisessa RLC -protokollassa datapaketin koko on etukäteen määriteltä, eikä sitä voi muuttaa ilman RLC-instanssien uudelleenkonfigurointia. RLC-datapaketin koko pitää olla tarpeeksi pieni välttääkseen suurien pakettien uudelleenlähetyksien aiheuttamat tehokkuuden heikentyminen lähetyksien tapahtuessa. Toinen syy suhteellisen pieniin RLC-datapaketin kokoihin on tarjota eri siirtonopeuksia pienin askelin Release99-standardin mukaisilla siirtokanavilla. Flexible RLC -ominaisuuden avulla lähetettävän RLC-datapaketin koko voi vaihdella vapaasti *kolmen ja 1503 tavun* välillä. Teoriassa suurin mahdollinen Flexible RLC -datapaketin koko on *2047 tavua*, mutta on sovittu, että *1500 tavun* Ethernet MTU (Maximum Transmission Unit) ja yhden tavun kokoinen mahdollinen PDCP-kontrollirakenne muodostavat kahden tavun kokoisen pakollisen RLC-kontrollirakenteen kanssa suurimman RLC-datapaketin koon. Jotta radioverkon tiedonsiirto olisi mahdollisimman tehokasta, pyrkii RLC AM -protokolla rakentamaan datapaketeista mahdollisimman suuria. Kuitenkin RLC-protokollan on muodostettava datapaketit alemmilla protokollakerroksilta saapuvien vaatimusten ja puskureissa olevan datan mukaan, joten aina RLC-datapaketin koko ei ole maksimaalinen.

Vaihtuvanmittaisen RLC-datapaketin myötä RLC AM -protokollan sisäinen toteutus on tavupohjainen. Release99-standardin mukaan kaikki datapaketit ovat samankokoisia, jolloin datapakettien rakentamiseen, lähetyksien hallinnointiin tai sisäisten laskureiden ylläpitoon ei tarvitse ottaa huomioon datapaketin kokoa. Flexible RLC -ominaisuuden myötä jokaisella datapaketin rakentamiskerralla, kuitattujen datapakettien poistamisella tai protokollatason laskureita päivitetessä tarvitsee RLC AM -protokollan tietää minkä kokoinen datapaketti oli kyseessä. Tämän takia Flexible RLC -ominaisuus vaatii pienillä tiedonsiirtonopeuksilla enemmän prosessointia kuin Release99-standardin mukainen RLC-toteutus. Suurempia tiedonsiirtonopeuksia käytettäessä Flexible RLC -ominaisuuden kanssa datapakettien rakennuskertojen määrä vähenee ja esimerkiksi datapakettien salaus voidaan suorittaa suuremmalle datamäärälle kerrallaan. Muun muassa näiden syiden takia tiedonsiirtoon käytettävän Flexible RLC -protokollan tarvitsema prosessointi on suhteellisesti pienempi kuin Release99-standardin mukaisen RLC AM -protokollan toteutuksen.

### ***Tiedonsiirto vaihtuvanmittaisen RLC AMD PDU:n kanssa***

Vaihtuvanmittaisen RLC-datapaketin rakentamiseen käytettävät vaiheet pysyvät samanlaisina Release99-standardin mukaisen RLC-datapakettien rakentamisen kanssa. Release99-toteutuksessa ylemmiltä protokollakerroksilta vastaanotetut RLC SDU:t voidaan jakaa RLC-datapaketin kokoisiksi datasegmenteiksi silloin, kun se on prosessointitehon kannalta suotuisaa. Flexible RLC -tiedonsiirtoa käyttäessä RLC AM -instanssi laskee sen hetkisten ominaisuuksien perusteella parhaan mahdollisen RLC-datapaketin koon. Tämän takia Flexible RLC:ssä prosessointi keskittyy varsinaisen datapaketin rakentamisen ja lähettämisen yhteyteen. Koska Flexible RLC -ominaisuutta käytettäessä tiedonsiirto toimii tavupohjaisesti, on ylemmiltä protokollakerroksilta saapuvista datapaketeista ylläpidettävä informaatiota lähetetystä datamäärästä ja sen sijainnista kullakin RLC-datapaketin sekvenssinumerolla.

Datapakettien rakentamisen RLC-instanssi aloittaa muodostamalla RLC SDU:ista mahdollisimman suuria datapaketteja asetusparametriensä mukaan. Liittämistä käytettäessä useampia pienempiä RLC SDU:ita voidaan sijoittaa yhteen isoon RLC PDU:hun. Ilman liittämistoiminnallisuutta instanssi muodostaa jokaisesta RLC SDU:sta oman RLC-datapaketin ja lisää siihen otsikkorakenteen. Samalla lisätään LI-kenttä merkitsemään RLC SDU:n loppua, jos Special HE-arvoa ei ole asetettu aktiiviseksi. Koska datapaketti voi olla vaihtuvan mittainen, ei täytettä tarvita lainkaan. Samoin liitettävät kontrolliviestit menettävät merkitystään, koska liitettynä kontrolliviesti tarvitsee yhden oktetin enemmän tilaa kuin erikseen lähetettynä. Datapakettien rakentamisessa tarkistetaan ensin uudelleenlähetettävien datapakettien tarve. Koska datapaketteja ei voida paloitella enää kun ne ovat sijoitettu lähetysikkunaan, tarvitsee uudelleenlähetys-datapaketin olla täsmälleen samankokoinen alkuperäisen datapaketin kanssa. Koska alemmat protokollakerrokset voivat muuttaa esimerkiksi tiedonsiirron maksiminopeutta, voi uudelleenlähetyspakettien lähettäminen aiheuttaa ongelmia alemmille protokollakerroksille. Flexible RLC-tiedonsiirrosta vastaanottava RLC-instanssi sijoittaa RLC-datapaketit vastaanottoikkunaan ja rakentaa RLC SDU:t LI-kenttien antaman tietojen mukaan. Vastaanottavassa RLC AM -instanssissa ei tarvitse varautua Flexible RLC -toiminnallisuuteen muuten kuin kasvaneen muistintarpeen takia. Koska datapakettikohtainen tilaraportin pyyntö -mekanismi toimii epätasaisesti Flexible RLC -toiminnallisuuden kanssa, suositetaan Flexible RLC -toiminnallisuuden kanssa muita tilaraportin pyyntö -mekanismeja.

### ***Special HE -arvo***

Release7-standardissa esitellään RLC AM -datapaketin kontrollirakenteen HE-elementtiin uusi arvo, 2, kappaleessa 6.1.3 esitetyn kuvan 13 mukaisesti. Elementin arvolla ilmoitetaan kyseisen RLC-datapaketin sisältävän yhden RLC SDU:n viimeiset tavut ja kyseinen RLC SDU loppuu tämän datapaketin viimeiseen tavuun. Näin ollen samassa datapaketissa ei voi olla osia muista RLC SDU:ista. Special HE-arvoa

käytettäessä kahden tavun kokoista LI-kenttää ei tarvita jos vain yksi RLC SDU sijoitetaan datapakettiin. Näin esimerkiksi yksi *1500 tavun* Ethernet-datapaketti voidaan rakentaa yhdeksi *1502 tavun* RLC PDU:ksi. Special HE -arvoa voidaan käyttää myös Release99-standardin mukaisessa RLC-tiedonsiirrossa, jolloin esimerkiksi TCP-protokollatason *40 tavun* kokoinen kuittaus voidaan siirtää yhdellä *42 tavun* RLC PDU:lla. Release99-standardin mukaisessa toteutuksessa yhteen *40 tavun* FTP ACK-viestiin tarvitaan kaksi *336 bitin* RLC-datapakettia. Ensimmäisen datapaketin *40 tavun* dataosuuteen sijoitetaan FTP ACK-viesti ja jälkimmäiseen datapakettiin sijoitetaan LI-kenttä indikoimaan hyötydatan päättyneen edelliseen datapakettiin sekä täytettä. Special HE -arvon käytöllä saadaan tiedonsiirron tarvitsema datamäärä puolitettyä.

### ***Tilaraportin pyyntö tilaviestillä eli Poll SUFI***

HSPA+-määrityksissä tärkeänä asiana on radiorajapinnan hyötysuhteen parantaminen RLC-protokollatasolla. RLC-instanssin tilaraportin pyyntömekanismin johdosta RLC asettaa tilaraportin pyynnön aktiiviseksi seuraavaan lähetettävään datapakettiin. Jos RLC-instanssilla ei ole dataa lähetettäväksi tai lähetysikkuna on täyttynyt, tarvitsee sen rakentaa viimeksi lähetetty RLC-datapaketti uudestaan ja asettaa tilaraportin pyyntö aktiiviseksi kyseiseen datapaketin kontrollirakenteeseen. Radiorajapinnan ominaisuuksien muuttuessa uudelleenrakennettuja datapaketteja voidaan joutua lähettämään useampia ennen kuin vastaanottaja saa datapaketin ja lähettää vaaditun tilaraportin sitä pyytävälle osapuolelle.

Release99-standardin mukaisessa toteutuksessa vakiomittaisen RLC-datapaketin takia muuta mahdollisuutta ei ole kuin lähettää redundanttia informaatiota sisältävä paketti vastaanottajalle ja näin tuhjata radioverkon tiedonsiirtoresursseja. Suurempien tiedonsiirtonopeuksien takia kasvatettu RLC-datapaketin koko aiheuttaa suurempaa hyötysuhteen heikennystä radiorajapinnalla. Flexible RLC -ominaisuuden myötä rajoitukset datapaketin koolle poistuvat, jolloin RLC-datapaketin rakennus ei ole sidottu tiettyyn datapaketin kokoon ja siihen mahdollisesti sisältyvään redundanssiin täytteen. Yksittäin lähetetyt muutaman tavun mittaiset kontrolliviestit parantavat Release99-standardin mukaista tehotonta tiedonsiirtotapaa.

Poll SUFI -toiminnallisuus tarkoittaa Flexible RLC -ominaisuuden myötä käytössä olevaa uutta Tilaraportin pyyntö -tilaviestiä. Tilaviestillä voidaan pyytää vastaanottajalta tilaraporttia erillisen datapaketin ja siihen asetetun tilaraportin pyynnön sijaan. Tilaraportin pyyntö -tilaviestin tyyppi-kentän arvo on 8, mikä Release7-standardia aiemmin on ollut pois käytöstä. Tilaviestissä ilmoitetaan myös viimeisen lähetetyn RLC-datapaketin sekvenssinumero tai sekvenssinumero johon asti kuittauspyyntö on voimassa. Tilaraportin pyyntö -tilaviestin avulla RLC-protokollatason tiedonsiirto ja kontrolli saadaan toisista riippumattomiksi.

### 7.4.3 FRLC:n muutosten vaikutukset muihin protokoliin

RLC-protokollan tiedonsiirto perustuu alapuolella olevien protokollien tarjoamiin palveluihin. RLC- ja MAC-protokollien välinen tiedonsiirto on Release99-standardin mukaisesti perustunut vakiomittaisten pakettien välittämiseen, joten Flexible RLC -ominaisuuden myötä RLC-MAC -rajapinnassa tarvitaan tietoa datapaketin koosta kumpaankin suuntaan. Radioverkko-ohjaimen MAC-d -protokolla rakentaa RLC datapaketista eli PDU:sta oman MAC-d PDU:n, jossa ei ole lainkaan kontrollirakenteita, eikä Flexible RLC-ominaisuuden myötä sen toteutusta tarvitse muuttaa.

Flexible RLC -ominaisuudessa Iub-rajapintaa käyttävä HS-DSCH FP -protokolla käyttää uusia kehystyyppejä (FP Frame Type 2) tukeakseen Flexible RLC:n vaihtuvamittaista datapakettia [3] ja siihen liittyviä kontrollikehystyyppejä. Vastaavasti ylävirran suuntaan 3GPP:n release8 -standardissa esiteltiin FRLC-yhteensopivat kehystyyppit E-DCH -palvelulle.

Tukiaseman MAC-protokollakerros HS-DSCH kanaville käyttää FRLC-tiedonsiirrossa MAC-ehs protokollan mukaista tiedonsiirtotapaa alavirtaan ja MAC-i protokollan mukaista ylävirtaan. Näillä saadaan toteutettua vaihtuvan mittaisin RLC datapaketin vaatimukset radorajapinnassa. [4]



## 8 RLC AM -protokollan haasteet UMTS-verkossa

Teoreettisesti tarkasteltuna RLC-protokollan toiminnallisuus on suoraviivaista ja hyvin jäsenneiltyä. Esimerkiksi standardissa [3GPP RLC] kuvatuissa toiminnoissa kaikille toimintamalleille on kuvattu yksityiskohtainen vaste, jolloin RLC-protokollan toteutus voidaan suorittaa vastakkaisen RLC-instanssin sisäistä toiminnallisuutta tietämättä. Esimerkiksi käytännön RLC-protokollan toiminnassa kuitenkin reaali maailmassa aina havaittavissa olevat viiveet tai UMTS-radioverkon dynaamisuus tekevät RLC-toteutuksesta standardissa kuvattua haasteellisempaa.

### 8.1 RLC AM -protokollan asetuspäätelaitteen ongelmat

RLC-protokollan alkuarvojen asettaminen tapahtuu radioverkossa RRC -protokollan avulla. Nämä alkuarvot riippuvat päätelaitteen ominaisuuksista, radioverkon ja runkoverkon sen hetkisestä tilasta, ennalta määritetyistä radioverkkoparametreista sekä asetettavissa olevan tietoliikenneyhteyden laadusta. Koska asetuspäätelaitteen valintaan vaikuttaa monta eri asiaa, täytyy RRM-algoritmien valita parametrit, jotka sopivat parhaiten sen hetkiseen tilanteeseen radioverkossa. Tämä osaltaan vaikuttaa siihen, että esimerkiksi yhteyden laatu ei täytä niitä kriteerejä, joita käyttäjä oli toivonut muodostaessaan yhteyttä radioverkkoon.

RRC-yhteyden avulla päätelaitteen ja radioverkon RLC-protokollainstanssit saadaan asetettua alkuarvoihin. Koska RLC:n toiminnasta päättävä RRC-instanssi sijaitsee radioverkko-ohjaimessa, siirretään halutut RLC:n asetustiedot signaalintikanavalla päätelaitteelle. Signaalointi päätelaitteen ja radioverkon välillä tuottaa viivettä RLC-protokollan asetukseen, jolloin RLC-instanssien välinen toiminta tarvitsee synkronoida. Tämä on tärkeää esimerkiksi tilanteissa, joissa RRC- tai RLC-protokollan tila muuttuu toiseksi. Tällöin voi syntyä tilanteita, joissa päätelaitteiden RLC-instanssit toimivat eri asetuseroilla. Kuvatus kaltainen asetuspäätelaitteen ongelma päättyy kun jommankumman RLC-instanssin huomattua vaillinnaisen datapakettisynkronoinnin, ilmoittaa se RRC-protokollalle yhteyden päättymisestä RLC-protokollatason virheen takia.

Toinen RLC-protokollaan vaikuttava yleinen asetuspäätelaitteen ongelma on salauksen

synkronointiongelma. Salauksen synkronointi on tärkeä RLC-protokollalle, koska se vaikuttaa esimerkiksi RLC SDU:iden rakentamiseen vastaanottavassa RLC-instanssissa. Jos radioverkon viiveiden takia päätelaite ilmoittaa ylävirran suuntaan tapahtuvan salauksen aloituskohdan liian myöhään, voi radioverkon salauksen purku epäonnistua. Tämä johtuu siitä, että salaus toimii erityisillä salausparametreilla, mitkä riippuu muun muassa RLC datapaketin sekvenssinumerosta. Jos asetusparametrien synkronointi ei onnistu päätelaitteen ja radioverkon välillä, voi vastaanottava RLC-instanssi tuottaa korruptoituneita RLC SDU -datapaketteja. Nämä datapaketit ovat RLC-protokollan mukaisesti oikeanlaisia datapaketteja, ja virheentarkistus jää ylemmille protokollakerroksille. Jos esimerkiksi PDCP-protokollakerroksella ei ole käytetty omaa PDCP-otsikkorakennetta tiedonsiirrossa päätelaitteen ja radioverkon välillä, voi datapaketti kulkeutua aina TCP-kerrokselle asti ennen kuin viallinen datapaketti huomataan ja uudelleenlähetyspyyntö lähetetään datapaketin lähettäjälle [10]. Vastaavasti UDP-tiedonsiirtoprotokollaa käytettäessä vialliset datapaketit voivat mennä sovelluskerrokselle asti, jolloin sovelluksen on hoidettava viallisten datapakettien uudelleenlähetyspyynnöt. Ongelman mahdollisimman nopeaan havainnointiin voidaan käyttää salauksen ominaisuuksia. Radioverkon ja salausalgoritmin luonteesta johtuen RLC-datapaketin kahta ensimmäistä oktetia ei salata lainkaan. Näiden oktettien ulkopuolelle jäävät hyötykuorma ja mahdollinen RLC SDU:n uudelleenrakentamiseen käytetty LI-tieto. Jos salaus on korruptoitunut, voi se aiheuttaa LI-kentän korruptoitumisen niin, että RLC SDU:n loppumerkki ei sijoitu enää käsittelyssä olevaan datapakettiin. Näin RLC SDU:ta ei voida muodostaa ja RLC-protokolla voi ilmoittaa RRC-protokollalle yhteyden tiedonsiirron epäonnistumisesta salauksesta johtuvan ongelman takia.

## **8.2 RLC AM -protokollan tiedonsiirto-ongelmat**

Asetusparametri-ongelmissa tiedonsiirron alkaessa ongelmat ovat jo olemassa, jolloin RLC-instanssit tarvitsevat uudelleenlupustaa tai poistaa ja luoda uudestaan toiminnan palauttamiseksi. Kesken RLC-instanssien välisen tiedonsiirtoyhteyden syntyvä tiedonsiirto-ongelma on erittäin yleinen langattomissa tietoliikennejärjestelmissä. Signaalin voimakkuuden nopea vaihtelu voi aiheuttaa ongelmia, jotka havaitaan vasta RLC-protokollakerroksella. Esimerkiksi Release99-standardin mukaisilla DCH-kanavilla jokainen radioverkossa kadonnut datapaketti joudutaan uudelleenlähettämään RLC-protokollan avulla. Erilaisten alempien protokollakerrosten datapakettienkeräämispuskureiden avulla pyritään varmistamaan RLC-protokollatason nopein mahdollinen toiminta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi MAC-protokollakerroksella eri lähteistä tulleet datapaketit järjestetään oikeille paikoilleen ennen RLC-protokollakerrokselle lähettämistä. Näin saadaan minimoitua esimerkiksi redundantit uudelleenlähetyspyynnöt ja niiden aiheuttama median tuhlaus väärässä järjestyksessä

saapuneiden datapakettien takia. Juuri kaksisuuntaisuuden takia RLC-instanssin asetusparametreilla on suuri vaikutus tietoliikenneverkon tiedonsiirtoon ja sen tehokkuuteen.

HSPA-tekniikan myötä ylävirtaan tapahtuvassa tiedonsiirrossa tukiaseman ja päätelaitteen välillä toimiva HARQ-prosessi pienentää RLC-tason uudelleenlähetysten määrää ja näin tehostaa Iub-yhteyttä radioverko-ohjaimen ja tukiaseman välillä. Kuitenkin tekniikan mahdollistaman nopeamman tiedonsiirron takia RLC-protokollan lähetyksen ja vastaanottopuskureiden merkitys kasvaa. RLC sekvenssinumeroavaruuden pienyyden takia RLC-datapaketin kokoa tarvitsee kasvattaa, jotta päätelaitteen ja radioverko-ohjaimen välisen viiveen takia voidaan saavuttaa maksimaalinen hyötynopeus. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tarvittaessa HARQ-prosessi uudelleenlähettää onnistuneesti datapaketit, ja RLC saa kuittaukset riittävän nopeasti säilyttääkseen tavoitellun tiedonsiirtonopeuden. Jos HARQ-prosessi ei pysty suoriutumaan uudelleenlähetyksistä, RLC-instanssi uudelleenlähettää datapaketin ja joutuu odottamaan siihen kuittaukseen. Jos kuittauksen odottamisen takia lähetyksikkuna täyttyy, keskeyttää RLC tiedonsiirron ja hyötynopeus putoaa kunnes kadonnut datapaketti on kuitattu.

Radioverkon tiedonsiirto-ongelmissa, kuten signaalin vaimenemisessa, RLC-protokolla joutuu usein turvautumaan Uudelleenalustus- eli RLC Reset -proseduuriin. RLC Reset -proseduuri merkitsee yleensä vähintään yhden ylemmän kerroksen datapaketin poistamista lähettävän RLC-instanssin lähetyksikkunasta ja samalla se vaikuttaa negatiivisesti loppukäyttäjän kokemukseen. Tämän takia uudelleenlähetyksertäyryksiä tietyille datapaketille voi olla useita kymmeniä ennen RLC Reset -proseduurin aloittamista. Vaikka yleisesti RLC-protokollatasolle näkyvät ongelmat johtuvat radio-rajapinnan vaihteluista, myös esimerkiksi Iub-rajapinnan tai radioverkkoelementin ylikuormatilanteet näkyvät RLC-kerrokselle tiedonsiirtokyvyn vaihteluina.

### **8.3 RLC AM -protokollan ongelmien havaitseminen**

Kuittaavana protokollana RLC-protokollakerroksella tunnistetaan ensimmäisenä radioverkon tiedonsiirto-ongelmat. RLC-instanssi ilmoittaa vastaanottavalle RLC-instanssille synkronointiongelmasta RLC Reset -proseduurilla tai myöhemmässä vaiheessa RRC -protokollainstanssit keskustelevat keskenään ongelmallisesta RLC-yhteydestä. Nämä indikaatiot ovat helppo havaita tiedonsiirrosta, vaikuttavat verkon toimintaan ja loppukäyttäjän kokemaan käyttökokemukseen. Näiden syiden takia RLC-protokolla on keskeinen protokolla radioverkon tiedonsiirron vianmäärityksessä radioverkon valmistajalla sekä verkkoa käyttävällä operaattorilla.

Radioverkon vianmäärityksessä operaattorilla on yleensä erilaisia menetelmiä monella eri tasolla. Tässä keskitytään radioverkon tiedonsiirtoon yksittäisen käyttäjän kannalta, jolloin esimerkiksi tarkastelu radioverkkotasolta on epäkäytännöllistä. Tosin jos

ongelmat ovat esillä laajemmin näkyvät ne radioverkon ylläpitotasolle asti. Esimerkiksi niin sanotut Key Performance Indicator (KPI) parametrit sisältävät joitain RLC-tason tietoja, kuten onnistuneesti lähetettyjen datapakettien määrän tai uudelleenlähetysten määrän [12]. Radioverkon rajapinnat ovat standardisoituja, joten niiden tarkasteluun on kehitetty yleisesti saatavilla olevia menetelmiä tai laitteistoja. Rajapinnat eivät ole julkisesti saavutettavissa, joten ongelmien selvittäminen tehdään yhteistyössä verkon omistavan operaattorin kanssa.

Radorajapinnan tarkasteluun tarvitsee oman analysaattorinsa, joka tunnistaa käytetyn radioverkkoteknologian kanavarakenteet ja niiden sisältämät viestit. Yksittäisen käyttäjän RLC-protokollatason toiminnallisuutta tarkasteltaessa tämä lähestymistapa ei ole välttämättä paras, koska radorajapinnassa siirrettävän tiedon määrä on valtava eikä käyttäjää voi helposti identifioida tietovirrasta. Käyttäjän identifioinnilla tarkoitetaan yksittäisen tietovuon eristämistä muusta tietovirrasta. Tätä tietovuota ei voi liittää yksikäsitteisesti tiettyyn loppukäyttäjään, joten tietoturvallisuusmielessä kenenkään yksityisyyttä ei vaaranneta.

Vastaavasti Iub- tai Iu-rajapintojen tarkkailuun on olemassa paljon menetelmiä, koska nykyään rajapinnat ovat IP-teknologian päälle rakennettuja. Esimerkiksi ilmainen Wireshark-protokolla-analysaattoriohjelma osaa erottaa omista IP-paketeistaan siirtyvät Iub-kehys- tai Iu-datapakettivuot toisistaan. Iub-rajapinnalla FP-kehysten sisällä on RLC-datapaketteja [3]. Koska ainoastaan RLC-datapaketin hyötykuorma on salattu, voidaan verkon vianmäärityksessä käyttää FP- ja RLC-protokollan otsikkorakenteita ongelman ratkaisemiseksi. Koska RRC-signaalointi kulkee Iub-rajapinnalla myös, voidaan käyttäjän tiedonsiirtovuon määrittellä RRC-signaalointiviestien mukaan, esimerkiksi RLC-yhteyden perustamisessa käytettyjen alustusarvojen avulla. Iu-rajapinnan IP-paketit sisältävät loppukäyttäjän IP-datapaketteja, jolloin datavuot voidaan erotella esimerkiksi IP-paketin otsikkotiedoilla.

Päätelaitteissa on eri valmistajilla erilaisia kehitysmalleja, joilla esimerkiksi matkapuhelinvalmistajat, operaattorit ja radioverkkovalmistajat voivat tarkastella tiedonsiirtoa eri protokollakerroksilla. RRC-yhteyden signaaloinnin tarkkailu on tärkeää, koska kaikki päätelaitteen signaalointi radioverkon tai runkoverkon välillä tapahtuu sen kautta. Jos RRC-yhteys ei toimi tai tiedonsiirtoyhteydessä on ongelmia, lähettää päätelaite radioverkkoon CCCH-kanavalla signaalointisanoman RLC-protokollan virheestä (RLC unrecoverable error). RLC-protokollakerroksen tarkastelu päätelaitteesta on helppoa, koska vain kyseiseen päätelaitteeseen liittyvä RLC -protokollan toiminnallisuus on esillä.

Kuten päätelaitteessa, myös radioverkko-ohjaimessa on hyvät mahdollisuudet tarkastella RRC- ja RLC-protokollatasojen toiminnallisuutta. Jos käytössä on sekä radioverkko-ohjaimen, että päätelaitteen RRC- ja RLC-tason toiminnallisuus kuvattuna, voidaan olla varmoja RLC-protokollan toiminnasta. Yhdenkin RLC-instanssin

monitoroinnilla saa hyvän kuvan ongelmasta, mutta esimerkiksi radioverkon viiveistä johtuen skenaarion ajoitus eri RLC-instansseilla voi olla merkitsevä.

### **RLC instanssin sisäinen tarkastelu**

Tarkasteltaessa yksittäistä RLC-instanssia tärkeimmät tiedot toiminnasta saadaan kolmella eri tarkastelupisteellä. RLC-instanssia luotaessa tai uudelleenasettaessa RRC-protokolla lähettää asetusparametrit RLC-instanssille. Jokainen asetus tai uudelleenasetus voi olla tärkeä vianmäärityksessä, joten asetustietojen tarkastelu tulisi olla mahdollista. Käytännössä tietojen pitäisi olla vastaavat mitä vastapään RLC-instanssi saa RRC-protokollalta. Näitä tietoja ovat muun muassa RLC-instanssin tai RRC-instanssin tila sekä ala- ja ylävirran tiedonsiirron aloittavat sekvenssinumerot. Koska RLC-protokolla on ensimmäinen protokolla, joka segmentoi loppukäyttäjän IP-datapaketteja, voidaan RLC-protokollaa pitää solmupisteenä hyötydatan ja radioverkon välillä. Tämän takia tiedonsiirto radioverkossa voidaan jakaa kahteen hallittavaan osaan, RLC-protokollakerroksen yläpuolella tapahtuvaan tiedonsiirtoon ja vastaavasti RLC-protokollatason ja sen alapuolella olevien protokollatasojen tiedonsiirtoon.

Toinen tarkastelupiste siis sijaitsee RLC-instanssin ala- ja ylävirran risteyskohdassa. Tarkastelupisteestä saadaan havaittua jokaisen radioverkossa siirtyvä RLC-datapaketin otsikkorakenne ja pääteltyä RLC-instanssin oikeanlainen toiminta tietyllä sisääntuloherätteellä.

Kolmas tarkastelupiste sijaitsee RLC SDU:n rakennustoiminnossa. Kaikki RLC-datapaketit lähetetään vastaanottajalle sekvenssinumeroitain ja vastaavasti ylempien protokollakerroksien datapaketeilla on mahdollisuus sisältää vastaava tunniste. Tarkastelupisteellä on tarkoitus yhdistää radioverkon RLC datapaketin sekvenssinumerot ylemmän protokollakerroksen datapaketin tunnisteeseen. Esimerkiksi erittäin yleisissä IP-, TCP- tai ICMP-protokollien mukaisten datapakettien otsikkokehyksissä on sekvenssinumero, johon monitorointipisteessä voi viitata [10]. Teoriassa tarkasteltuna tämä rikkoo modulaarisuuden rajoja, mutta käytännössä eri protokollakerrosten yhdistäminen vianmääritystilanteissa on sallittua.

Näillä kolmella tarkkailupisteellä erilaisia radioverkkoon tai sen ulkopuolelle sijoitettavia pakettidataliikenteen ongelmia voidaan tarkkailla yhden protokollakerroksen kautta.

## 9 YHTEENVETO

Pakettidataliikenne on koko 2000-luvun nostanut suosiotaan matkapuhelinjärjestelmissä. Perinteisesti tietoliikennejärjestelmät ovat suunniteltu niin kutsuttujen piirikytkentäisten verkkojen varaan, mutta nykyaikaisen WWW-liikenteen suosion takia purskeinen datapakettiliikenne on jättänyt piirikytkentäiset verkot puhe-palveluille. Yhtenä monista radioverkon tiedonsiirtoprotokollasta RLC-protokolla antaa hyvän käsityksen tietoliikennejärjestelmän monimutkaisuudesta nykypäivän tiedonsiirtojärjestelmässä.

Monen vuoden aikana 3GGP-yhteisö on määritellyt RLC-protokollan standardin, jossa muun muassa taataan radioverkon yksityisyyden suoja sekä pyritään mahdollisimman virheettömään tiedonsiirtoon. Standardissa on määritelty seikkaperäisesti skenaariot, joiden mukaan RLC-protokollan instanssin on toimittava. Toimintojen mukaan sekä radioverkon että päätelaitteen RLC-instanssit, sekä niitä määräävä RRC-protokolla voivat toimia synkronoidusti.

Tekniikan kehittyessä ja tietoteknisten laitteiden käyttäjien vaatimusten noustessa olemassaolevia tekniikoita kehitetään parantamalla esimerkiksi entisten menetelmien hyötysuhteita tai -nopeuksia. Release99-standardin mukaisten pakettipalvelujen staattisuuden takia kehitettiin HSPA+ -protokollaperhe, jonka tavoitteena oli muuttaa tiedonsiirtoa dynaamisemmaksi koko radioverkossa. RLC-protokollan toteutukseen suurimman muutoksen aiheutti vaihtuvanmittaisten datapakettien käyttö, jolloin alempien protokollakerrosten tietoja käytetään hyväksi paremmalla hyötysuhteella kuin aiemmin. Samalla RLC-tason datan hyötynopeutta saatiin kasvatettua alla olevien tekniikoiden määrittelemälle tasolle.

3G-järjestelmien monimutkaisuus, dynaamisuus ja reaaliaikaisuus aiheuttavat standardien mukaan toteutetulle protokollaimplementaatiolle myös ongelmatilanteita. Eri osapuolten synkronointiongelmat palvelun aikana tai signaalien voimakkuuksien suuret vaihtelut aiheuttavat tilanteita, joissa käyttäjäkohtainen kokemus ei vastaa toivottua. Osittain nämä tilanteet voivat aiheutua luonnollisista syistä, mutta jos esimerkiksi radioverkko-ohjaimen tai päätelaitteen välinen yhteensopivuus ei ole taattu, tarvitaan menetelmiä, joilla tiedonsiirtoa voi tarkastella. Vastaavasti tiedonsiirto-ongelmat radioverkossa kuljetettavan IP-liikenteen ja radioverkon protokollien välillä voidaan alustavasti tarkastella RLC-protokollakerroksella.

Opinnäytetyössä tavoitteena oli tuoda esille RLC-protokollan sisimmäinen olemus, joka

rakentuu standardin mukaisiin toimintoihin. Toiminnot kuitenkin muuttuvat kun standardi toteutetaan käytäntöön. Kokemuksella suunnittelusta, testaamisesta ja ylläpidosta löytää standardista muutakin kuin pelkät tekniset lauseet. Tavoitteena oli tuoda edes muutama kokemusten tuottamista asioista opinnäytetyöhön.

# LÄHTEET

- [1] C. Chevallier et al. WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning, Optimization Aspects, Wiley, 2006, 412 s.
- [2] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, TS25.322 V7.0.0 Radio Link Control (RLC) protocol specification, Release 7, 2006
- [3] HSPA-palvelu kolmannen sukupolven radioverkko-ohjaimessa, Kandidaatintyö Tuomo Eskola, 2011
- [4] H. Holma, A. Toskala, HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications, Wiley, 2006, 268 s.
- [5] C. Johnson, Radio Access Networks for UMTS: Principles and Practice, Wiley, 2008, 626 s.
- [6] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, TS25.321 V7.0.0 Medium Access Control (MAC) protocol specification, Release7, 2006
- [7] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, TS25.323 V7.0.0 Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification, Release 7, 2006
- [8] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, TS25.323 V7.0.1 UTRAN Iub interface user plane protocols for Common Transport Channel data streams, Release 7, 2006
- [9] H. Holma, A. Toskala, WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, Wiley, 2000, 344 s.
- [10] W. Stallings, Data and Computer Communications, 8<sup>th</sup> Edition, Pearson Prentice Hall, 2007, 901 s.



- [11] J. Alcaraz et al. Optimizing TCP and RLC Interaction in the UMTS Radio Access Network , IEEE Network , March/April 2006
  
- [12] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project TS 32.410 Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for UMTS and GSM, Release8, 2009

# LIITTEET

## LIITE A – RLC AM -instanssin vuokaavio

